# Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 6 Número 2 - julio-diciembre de 2015
ISSN 2145-6097

# Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 6 Número 2 – julio-diciembre de 2015 – ISSN 2145-6097



## Cuerpo directivo

**JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR**
Rector UNAD

**CONSTANZA ABADIA GARCÍA**
Vicerrectora Académica y de Investigación

**LEONARDO YUNDA PERLAZA**
Vicerrector de Medios
y Mediaciones Pedagógicas

**EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ DÍAZ**
Vicerrector de Desarrollo Regional
y Proyección Comunitaria

**MARTHA LUCIA DUQUE RAMIREZ**
Vicerrector de Servicios a Aspirantes,
Estudiantes y Egresados

**LUIGI HUMBERTO LOPEZ GUZMAN**
Vicerrector de Relaciones Internacionales

**JULIALBA ANGEL OSORIO**
Decana Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

**JULIALBA ANGEL OSORIO**
Líder Nacional de Investigación UNAD

**DIANA CAROLINA RUBIANO LABRADOR**
Líder de Investigación Escuela de Ciencias
Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

**DIRECTOR EDITOR**
Reinaldo Giraldo Díaz

**COEDITORA**
Libia Esperanza Nieto Gómez

## Comité editorial

**FLÁVIO VIEIRA MEIRELLES**
Médico Veterinario, Ph.D.
Universidad de São Paulo

**NELSON PIRANEQUE GAMBASICA**
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Universidad del Magdalena

**JUAN JOSÉ SILVA PUPO**
Ingeniero Agrónomo, PhD en Ciencias
Agrícolas Universidad de Granma, Cuba

**DAVID ENRIQUEZ ENRIQUEZ**
Ingeniero Agrónomo, MSc
y PhD en Ciencias en Botánica
Universidad Autónoma de Zacatecas México

**OSCAR EDUARDO SANCLEMENTE REYES**
Ingeniero Ambiental, MSc, PhD en Agroecología
Universidad Nacional de Colombia

**OSCAR EMERSON ZUÑIGA.**
Ingeniero Agrónomo, Msc, Doutorando em educação,
Universidade Federal de Pernambuco UFPE Brasil.

**JOSE ALEJANDRO CLEVES**
Ingeniero Agrónomo, MSc en Ciencias
Agrarias Universidad Pedagógica y Tecnológica
de Colombia (UPTC)

**SAMUEL ZIEM BONYE**
B.A. y M.Phil. en Development Studies, Ph.D. (c)
University for Development Studies, Ghana

**BEATRIZ EUGENIA CID AGUAYO**
Socióloga, MSc y PhD en Sociología
Universidad de Concepción, Chile

**MARTHA PATRICIA ESPAÑA**
Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, MSc,
PhD en Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Zacatecas México

**ROLANDO TITO BACCA IBARRA**
Ingeniero Agrónomo, MSc, PhD en Entomología
Universidad de Nariño

## Comité científico

**HERNÁN JAIR ANDRADE CASTAÑEDA**
Ingeniero Agónomo, MSc, PhD
Universidad del Tolima

**ALVEIRO SALAMANCA JIMÈNEZ**
Ingeniero Agrónomo, PhD
University of California, Davis

**ELISABETE FIGUEIREDO**
Sociologa, PhD in Environmental Sciences
University of Aveiro

**HUGO MARTÍNEZ HIGUERA**
Ingeniero Forestal, MsC, PhD en Biología
Universidad del Tolima

**PEDRO EMILIO MONDINO HINTZ**
Ingenero Agrónomo, PhD en Agronomía
Universidad de la República – Uruguay

**JUAN JAIRO RUÍZ ROJAS**
Ingeniero Agrónomo, MsC, PhD,
Postdoctoral Associate, Crop Molecular Genetics
Virginia Polytechnic Institute and State University,
Blacksburg, Virginia, USA

## Revisor de estilo lengua inglesa

**WILLIAM FRANCIS**
B.T.A. - OREGON

## Revisor de estilo lengua portuguesa

**SAMUEL DIOGO MEIRINHO**
Universidade de Aveiro – Portugal

## Revisor de estilo lengua española

**EFIGENIO HERNÁNDEZ**
Universidad Nacional Abierta y a Distancia

## Fotografía de la portada

"Serena Perspectiva", Río Amazonas, Colombia. Tomada y cedida a RIAA por Sebastián Andrés Espinosa Velásquez

## Impresión

PICTOGRAMA S.A.S.

**INFORMACIÓN, CORRESPONDENCIA, SUSCRIPCIONES Y CANJE REVISTA DE INVESTIGACION AGRARIA Y AMBIENTAL**

Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Calle 14 Sur N. 14-23 Bogotá, Colombia
Teléfonos: (571) 3443700 ext. 1529
e-mail: riaa@unad.edu.co

La revista puede consultarse en su versión electrónica en http://www.unad.edu.co/riaa/

Periodicidad: semestral

# Presentación

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) es un proyecto editorial de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), que surge en el año 2009 con el fin de comunicar los resultados de investigaciones originales en el área agraria y ambiental realizadas por personas, grupos o instituciones tanto nacionales como internacionales. Con el fin de mantener y afianzar la confianza entre investigadores y público interesado en las temáticas de RIAA, la revista busca su inclusión en prestigiosas bases de datos y sistemas de indexación tanto nacionales como internacionales.

## Misión

La misión de RIAA es fomentar la comunicación y colaboración entre investigadores nacionales e internacionales a través de la divulgación y transferencia de conocimiento relacionado con las ciencias agrarias y del medio ambiente, con el fin de fortalecer la generación de nuevo conocimiento.

## Público al que se dirige

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) es una publicación oficial de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), destinada a publicar artículos resultantes de las investigaciones originales en el área agraria y ambiental y en las áreas de conocimiento afines, en temas relacionados con los avances en producción animal, agricultura y uso sostenible de los recursos naturales. Como ejemplos de áreas afines citamos, entre otras, ética, ecología, sociología, geografía, historia, derecho, educación y economía, cuando se ocupan de perspectivas del desarrollo, de estilos de agricultura, de historia agraria, de desarrollo sustentable, de bioética y ética ambiental, de educación ambiental y extensión rural, de política agraria y ambiental, de legislación ambiental, forestal y agraria o de contribuciones significativas e innovadoras con visión sistémica, interdisciplinaria y/o transdisciplinaria. La publicación circula en formato impreso y en forma electrónica con acceso libre.

## Periodicidad

RIAA es una publicación semestral (enero-junio y julio-diciembre).

# Índice

**Editorial**

Reinaldo Giraldo Díaz & Libia Esperanza Nieto Gómez **10**

**Producción de café (Coffea arabica L.) en respuesta al manejo específico de la fertilidad del suelo**

***Production of coffee (Coffea arabica L.) in response to the specific handling of soil fertility***

Produção de café (Coffea arabica L) em resposta a gestão específica da fertilidade do solo

Luz Adriana Lince Salazar & Siavosh Sadeghian Khalajabadi **19**

**Evaluación de sustratos orgánicos para la aclimatación y endurecimiento de vitroplantas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)**

***Evaluation of organic substrates for acclimatization and hardening of vitroplants of cassava (Manihot esculenta Crantz)***

Avaliação de substratos orgânicos para aclimatação e endurecimento das mudas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

Miguel Macgayver Bonilla Morales, Sergio Adolfo Sánchez Ordoñez & Jorge Pachón García **31**

**Contenido y distribución de macronutrientes en caléndula (*Caléndula officinalis* L.) en el Valle del Cauca, Colombia**

***Content and distribution of macronutrients in calendula (Calendula officinalis L.) in the Valle del Cauca, Colombia***

Conteúdo e distribuição de macronutrientes na Calendula (*Calendula officinalis* L.), no Valle del Cauca, Colômbia

Yuly Samanta García Vivas, Juan Carlos Menjivar Flores, Manuel Salvador Sánchez Orozco & Carmen Rosa Bonilla Correa **37**

**Contribución de *Vigna unguiculata* L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar**

***Contribution of Vigna unguiculata L. to the sustainability of systems for the cultivation of sugar cane***

*Vigna unguiculata* L. contributo para a sustentabilidade dos sistemas de produção de cana

Oscar Eduardo Sanclemente Reyes, Milton Cesar Ararát Orozco & Cristihan Andrés De la cruz Cardona **47**

**Aprovechamiento forestal maderable en cuatro municipios del departamento de Chocó, Colombia**

***Timber forestry in four municipalities in the Department of Chocó, Colombia***

Exploração madeireira em quatro municípios no departamento de Choco, Colômbia

Melida Martínez Guardia, Jhon Jerley Torres Torres & Henry Hernan Medina Arroyo **57**

**Asociaciones de poliquetos de fondos blandos en la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano**

***Associations of polychaetes of soft bottoms in the bay of Buenaventura, Colombian Pacific***

Fundo macio poliquetas na baía de Buenaventura, na costa do Pacífico da Colômbia

Juan Guillermo Popayán Hernández **75**

---

**Diagnóstico y monitoreo de leptospirosis en Latinoamérica**

***Diagnosis and monitoring of leptospirosis in Latin America***

Diagnóstico e monitorização de leptospirose em Latinoamérica

Oscar Moreno Foglia, Catalina Trujillo Salinas, Cicero Antonio Maia Cavalcante & José Camilo Torres Romero **85**

---

**Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano**

***Biotechnology applied to colombian agricultural development***

Biotecnologia aplicada ao desenvolvimento agricola colombiano

Sandra Patrícia Montenegro Gómez & Yeni Katerine Hernández Ossa **97**

---

**Resistencia a los antibióticos beta-lactámicos Carbapenems mediada por el gen *bla*$_{KPC}$ en *Klebsiella pneumoniae***

***Resistance to beta-lactam antibiotics Carbapenems mediated bla*$_{KPC}$ *gene in Klebsiella pneumoniae***

A resistência aos antibióticos beta-lactâmicos Carbapenems mediada gene *bla*$_{KPC}$ em *Klebsiella pneumoniae*

Aura Dayana del Carmen Falco Restrepo & Carlos Andrés Aranaga Arias **109**

---

**Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia**

***Physico-chemical and microbiological characterization of Soacha River water, Cundinamarca, Colombia.***

Caracterização microbiológica físico-químicas da água de Rio Soacha, Cundinamarca, Colombia

Gustavo Forero Acosta **119**

---

**Restauración ecológica en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* Labill y *Acacia melanoxylon* R. Br.**

***Ecological restoration in forestry plantations of Eucalyptus globulus Labill and Acacia melanoxylon R. Br.***

Restauração ecológica em plantações florestais de *Eucalyptus globulus* Labill e *Acacia R. Br melanoxylon*

Lina Rocío Guio Cortés, Jairo Solorza Bejarano & Leslie Yaneth Leal Mejía **145**

---

**Remoción de carga contaminante en aguas residuales industriales a escala de laboratorio**

***Removal of pollutant load in industrial wastewater at laboratory scale***

A remoção da carga poluente das águas residuais na indústria de escala de laboratório

Gustavo Adolfo Peña-Hernandez, Frank Alberto Cuesta-Gonzalez & Jhon Fredy Betancur Pérez **157**

---

**Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos**

***Characterization of the agroecological leachate from organic residues of crops***

Caracterização agroecológica de lixiviado de resíduos de culturas orgánicas.

Carlos Arturo Granada Torres & Yolvi Prada Millán **169**

---

**Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar, Colombia**

***Nutrient Removal using natural and chemical coagulants in waste water treatment plant, Valledupar, Colombia***

Remoção de nutrientes por coagulantes naturais e químicas em águas residuais estação de tratamento, Valledupar, Colômbia

Damileth Dearmas Duarte & Luis Francisco Ramírez Hernández **183**

---

**Biomasa aérea almacenada en *Ficus soatensis* y *Tecoma stans* en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, Colombia**

***Aerial biomass stored in Ficus soatensis and Tecoma stans in the locality of Puente Aranda, Bogota, Colombia***

Biomassa acima do solo armazenada em *Ficus soatensis* and *Tecoma stans* na localidade de Puente Aranda, Bogotá, Colômbia

Jeniffer Paola Gracia Rojas & Edgard Ernesto Cantillo Higuera **197**

---

**Elaboración de néctar de durazno (*Prunus pérsica* L), endulzado con sucralosa como aprovechamiento de pérdidas poscosecha**

***Elaboration of nectar peach (Prunus pérsica L), sweetened with sucralose as use of post-harvest losses***

Desenvolvimento de néctar de pêssego (*Prunus persica* L), adoçado com sucralose como o uso de perdas pós-colheita

Darío Alberto Pinto Medina, Ángela Johana Lemus Cerón & Gloria Acened Puentes Montañez **221**

---

**Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico.**

***Importance of renewable energies in the energy security and its relationship with economic growth.***

Importância das energias renováveis na segurança energética e sua relação com o crescimento económico.

Lilian Paola Umbarila Valencia, Freddy Leonard Alfonso Moreno & Julio César Rivera Rodríguez **231**

---

**Valoración de impactos ecológicos por minería de oro en río Guabas, Valle del Cauca, Colombia**

***Assessment of ecological impacts by mining of gold in Guabas River, Valle del Cauca, Colombia***

Avaliação dos impactos ecológicos de mineração de ouro do rio Guabas, Valle del Cauca, Colômbia

Diego Esteban Gamboa García **243**

---

**Miniestacas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz): hacia un eficiente sistema de propagación en cultivo de tejidos**

***Mini-cuttings of cassava (Manihot esculenta Crantz): towards an efficient propagation system in tissue culture***

Miniestacas mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): Rumo a um sistema eficiente de propagação de cultura de tecidos

Miguel Macgayver Bonilla Morales, Sergio Adolfo Sánchez Ordoñez & Jorge Pachón García **255**

---

**Evaluación del desarrollo en vivero de *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno)**

***Evaluation of the nursery development of Peltogyne purpurea Pittier (Nazareno)***

Avaliação do desenvolvimento em berçário de *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno)

Ramón Antonio Mosquera Mesa & Luis Angel Ruíz Florez **261**

---

**Cómo citar los artículos publicados en el Volumen 6** **275**

**Instrucciones para los Autores** **280**

# Editorial

Mucha gente pequeña en lugares pequeños, haciendo
cosas pequeñas puede cambiar el mundo (Eduardo Galeano).

Eduardo Germán María Hughes Galeano, más conocido como Eduardo Galeano, falleció el 13 de abril de 2015, mas su obra sigue iluminando a miles de intelectuales latinoamericanos que desde diferentes disciplinas y perspectivas apuestan por un mundo otro, por una sociedad otra. Desde el primer párrafo de la Introducción a "Las venas abiertas de América Latina", escrito en 1970 y publicado en 1971, pero con una vigencia inacabable hasta que no pueda superarse la desigualdad en el mundo, se vislumbra la necesidad de otros rumbos:

> La división internacional del trabajo consiste en que unos países se especializan en ganar y otros en perder. Nuestra comarca del mundo, que hoy llamamos América Latina, fue precoz: se especializó en perder desde los remotos tiempos en que los europeos del Renacimiento se abalanzaron a través del mar y le hundieron los dientes en la garganta. Pasaron los siglos y América Latina perfeccionó sus funciones. Éste ya no es el reino de las maravillas donde la realidad derrotaba a la fábula y la imaginación era humillada por los trofeos de la conquista, los yacimientos de oro y las montañas de plata. Pero la región sigue trabajando de sirvienta. Continúa existiendo al servicio de las necesidades ajenas, como fuente y reserva del petróleo y el hierro, el cobre y la carne, las frutas y el café, las materias primas y los alimentos con destino a los países ricos que ganan, consumiéndolos, mucho más de lo que América Latina gana produciéndolos (Galeano, 1970, p. 15).

A la invención de otras posibilidades, de otro destino, de otros modos de vida para el mundo y especialmente para América Latina, nos invita el autor en su libro que cobra cada vez mayor importancia en un contexto como el Latinoamericano en el que se sigue expoliando al hombre y a la naturaleza para satisfacer la codicia de unos pocos. Aunque son muchos los textos y posturas que se pueden citar para resaltar la vigencia del pensamiento de Eduardo Galeano, bástenos por ahora con aludir a este magnífico hombre y a su monumental obra.

Puede que hayan cambiado las cifras, pero el llamado de Galeano es ahora más urgente que nunca. La Introducción a "Las venas abiertas de América Latina" tiene como subtítulo "Ciento veinte millones de niños en el centro de la tormenta" ¡qué bello llamado! ¡qué hermosa dedicatoria! ¡qué estremecimiento producen esas palabras al leerlas! Y no se trata de una cifra vacía, ni una preocupación por el futuro, sino de un llamado en su presente, a modificar el presente de su época, a transformar esta historia que parece repetirse una y otra vez.

La primera parte del libro lleva por título “La pobreza del hombre como resultado de la riqueza de la tierra”. Un título formidable para ese primer segmento, un título que recoge en doce palabras una sentencia, un destino para los pueblos de América Latina. Es paradójico que casi medio siglo después (poco más de quinientos años después, como señala Galeano en el libro), las naciones de América Latina todavía experimenten el frenesí que generan la “fiebre del oro, fiebre de la plata”, que diversos actores sigan promoviendo el agronegocio pese a las secuelas de violencia, pobreza, iniquidad, desigualdad social que suscitan “Las fuentes subterráneas del poder”, la dependencia económica y la economía hegemónica dependiente del petróleo y el extractivismo.

La segunda parte del libro lleva por título “El desarrollo es un viaje con más náufragos que navegantes”. Nuevamente Galeano, con sus certeras palabras que apuntan al corazón del problema pero también a la sensibilidad humana, a la solidaridad de los pueblos y las comunidades, relacionándolo al hecho de que el 20 de enero de 1949 el presidente norteamericano Harry Truman, inaugura, en su discurso inicial ante el Congreso, el subdesarrollo. Aún hoy se expande esta visión del mundo según la cual unos países son cada vez más desarrollados y otros cada vez más subdesarrollados. Los países de América Latina deben elaborar sus “planes de desarrollo” (o “planes de subdesarrollo”, según se prefiera) para afirmar “La estructura contemporánea del despojo”

Con esta Editorial, escrita a escasos meses de la transformación de Eduardo Galeano, se concita a leer este texto fundamental para comprender, leer e interpretar la realidad Latinoamericana y construir juntos estrategias y enfoques para transformarla.

Galeano, E. (1971). Las venas abiertas de América Latina. Fondo de Cultura Económica. México.

**Reinaldo Giraldo Díaz**
Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

**Libia Esperanza Nieto Gómez**
Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

# Editorial

A lot of small people in small places, doing little things
can change the world (Eduardo Galeano).

Eduardo Germán María Hughes Galeano, more known as Eduardo Galeano, died on 13 April 2015, but his work continues to enlighten thousands of intellectuals in Latin America that from different disciplines and perspectives are betting on a different world, by a different society. From the first paragraph of the Introduction to "Open Veins of Latin America", written in 1970 and published in 1971, but with an endless force until inequality in the world couldn't be overcome, there were signs of the need of other directions

> The international division of labor is one in which some countries specialize in winning and others in losing. Our region of the world, which today we call Latin America, was precocious: specialized in losing from the remote times in which Europeans of the Renaissance rushed through the sea and cause to sink down the teeth into the throat. As the centuries passed, Latin America perfected its functions. This is no longer the kingdom of the wonders where reality defeated the fable and imagination was humiliated by the trophies of the conquest, the deposits of gold and the mountains of silver. But the region is still working as a maid. The service of the needs of others continues to exist, as a source and reserves of petroleum and iron, copper and the meat, fruit and coffee, the raw materials and foods with destination to the rich countries who earn, much more consuming them than Latin America wins producing them (Galeano, 1970, p. 15).

To the invention of other possibilities, from another destination, from other ways of life for the world and especially for Latin America, the author invites us in his book that is becoming increasingly important in a context such as the Latin American which continues to plunder the man and nature to satisfy the greed of a few. Although there are many texts and positions which may be cited to highlight the validity of the thought of Eduardo Galeano, let us allude to this magnificent man and his monumental work

It is possible that they have changed the numbers, but Galeano's call is now more urgent than never. The Introduction to "The open veins of Latin America" takes "Hundred twenty million children "in the center of the thunderstorm: "; as a subtitle. What a beautiful call! what a beautiful dedication! What a thrill these words produce by reading them! And it is neither about an empty number, nor a worry for the future, but a call in its present, to modify the present of its epoch, to transform this history that seems to repeated again and again.

The first part of the book is entitled “The poverty of the man as a result of the wealth of the land”. A formidable title for that first segment, a title that collects in twelve words a sentence, a destination for the people of Latin America. It is paradoxical that almost half a century later (little more than five hundred years later, as Galeano points out in the book), the Nations of Latin America still experience the frenzy that generate “gold rush, silver rush”, that various actors continue to promote agribusiness despite the aftermath of violence, poverty, iniquity, social inequality that arouse “The underground sources of power” economic dependence and the hegemonic economy dependent on oil and extractivism.

The second part of the book entitled “Development is a journey with more castaways that surfers”. Again Galeano, with his accurate words that point to the heart of the problem but also to the human sensitivity, to the solidarity of the peoples and communities, relating it to the fact that on 20 January 1949 the American President Harry Truman, inaugurated in his opening speech to the Congress, the underdevelopment. Even today this vision of the world according to which some countries are increasingly developed and other increasingly underdeveloped continues to expand. The countries of Latin America should develop its “development plans” (or “plans of underdevelopment”, as preferred) to affirm “the contemporary structure of the spoils".

With this Editorial, written a few months of the transformation of Eduardo Galeano, stirs up to read this fundamental text to understand, read and interpret the Latin American reality and build together strategies and approaches to transform it.

Galeano, E. (1971). Las venas abiertas de América Latina. Fondo de Cultura Económica. México.

**Reinaldo Giraldo Díaz**
Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

**Libia Esperanza Nieto Gómez**
Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

# Editorial

Muitas pessoas pequenas em lugares pequenos, fazendo coisas pequenas podem mudar o mundo (Eduardo Galeano).

Eduardo Germán Maria Hughes Galeano, melhor conhecido como Eduardo Galeano, morreu no dia 13 de abril de 2015, mas sua obra continua a inspirando milhares de intelectuais latino-americanos de diferentes disciplinas e perspectivas, que apostam por outro mundo, por outra sociedade. Desde o primeiro parágrafo da introdução de "As veias abertas da América Latina", escrito em 1970 e publicado em 1971, mas com um efeito perdurável até que não poça se-superar a desigualdade no mundo, é clara a necessidade de outras rotas:

> A divisão internacional do trabalho baseia-se em que alguns países se especializam em ganhar e outros em perder. Nossa região do mundo, que hoje chamamos de América Latina, foi precoce: especializou-se em perder desde tempos remotos quando os europeus do Renascimento voltaram-se através do mar e afundou seus dentes em sua garganta. Passaram os séculos e América Latina aperfeiçoou suas funções. Ela já não é mais o reino das maravilhas, onde a realidade ganha à fábula e a imaginação foi humilhada pelos troféus da conquista, os depósitos de ouro e as montanhas de prata. Mas a região segue trabalhando como empregada doméstica. Continua ao serviço das necessidades dos outros como uma fonte e reserva de petróleo, ferro, cobre, carne, frutas e café, as matérias primas e alimentos destinados a países ricos que ganham, consumindo-os, muito mais do que América Latina ganha produzindo-os (Galeano, 1970, p. 15).

À invenção de outras possibilidades, de outro destino, de outras formas de vida para o mundo e, especialmente, para América Latina, o autor nos convida no seu livro que assume cada vez mais importância em um contexto como o latino-americano em que ainda aproveita ao homem e a natureza para satisfazer a avareza de uns poucos. Embora sejam muitos os textos e posições que podem se citar para destacar a importância do pensamento de Eduardo Galeano, por enquanto é suficiente elogiar este grande homem e sua obra monumental.

Pode ser que tinham mudado os números, mas o convite do Galeano é agora mais urgente do que nunca. A introdução a "As veias abertas da América Latina" tem como subtítulo "Cento e vinte milhões de crianças no centro da tempestade," Que lindo chamado! Que bela dedicatória! Que emoção produz essas palavras! E não se trata de uma cifra vazia, nem uma preocupação pelo futuro, mas é um convite no presente, para modificar o presente da sua época, para transformar essa história parece se repetir uma e outra vez.

A primeira parte do livro é intitulada "A pobreza do homem como resultado da riqueza da terra." Um titulo formidável para esse primeiro segmento, um título que inclui doze palavras em uma frase, um destino para os povos da América Latina. É um paradoxo que quase meio século mais tarde (pouco mais de quinhentos anos depois, como o Galeano diz no livro), as nações da América Latina ainda experimentam a agitação gerada pela "febre do ouro e da prata" que diferentes atores continuam na promoção do agronegócio, apesar dos efeitos da violência, a pobreza, a inequidade, a desigualdade social que geram "fontes subterrâneas do poder", a dependência económica e da economia hegemônica dependente do petróleo e extrativismo.

A segunda parte do livro intitulado "O desenvolvimento é uma viagem com mais náufragos do que navegantes". Novamente Galeano, com suas palavras precisas que apontam ao centro do problema, mas também para a sensibilidade humana, a solidariedade dos povos e as comunidades, relacionando-o ao fato de que o 20 de janeiro de 1949 o presidente dos EUA, Harry Truman, inaugurou, no seu discurso inicial ao Congresso, o subdesenvolvimento. Ainda hoje essa visão do mundo se espalha segundo a qual alguns países estão se tornando mais desenvolvidos e outros países cada vez mais subdesenvolvidos. Os países latino-americanos devem desenvolver seus "planos de desenvolvimento" (ou "planos subdesenvolvimento", como preferencial) para dizer "A estrutura contemporânea de desapropriação".

Com este editorial, escrito poucos meses após a transformação do Eduardo Galeano foram incita a ler este texto fundamental para entender, ler e interpretar a realidade latino-americana e construir em conjunto estratégias e abordagens para transformá-la.

Galeano, E. (1971). Las venas abiertas de América Latina. Fondo de Cultura Económica. México.

**Reinaldo Giraldo Díaz**
Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

**Libia Esperanza Nieto Gómez**
Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

# Cesión de derechos

RIAA, al momento de recibir la postulación de un manuscrito por parte de su autor, ya sea a través de correo electrónico o postal, considera que puede publicarse en formatos físicos y/o electrónicos y facilitar su inclusión en bases de datos, hemerotecas y demás procesos de indexación.

Se autoriza la reproducción y citación del material de la revista, siempre y cuando se indique de manera explícita el nombre de la revista, los autores, el título del artículo, volumen, número y páginas.

Las ideas y conceptos expresados en los artículos son responsabilidad de los autores y en ningún caso reflejan las políticas institucionales de la UNAD.

# Indexaciones

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental es indexada en las siguientes bases de datos especializadas.

La Base Bibliográfica Nacional - BBN **Publindex**, que hace parte del Sistema Nacional de Indexación y Homologación, es dirigida por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias. Está constituida por la información integrada por las revistas especializadas de CT+I sobre su producción, donde se hace visible para consulta en línea la información bibliográfica recolectada de los documentos hasta el nivel de resumen.

**CABI** es una organización intergubernamental sin fines de lucro, que proporciona información y servicios de carácter científico en el mundo desarrollado y en desarrollo.

**CAB Abstracts:** es una base de datos que ayuda a documentar la literatura publicada en el mundo, en: agricultura, medio ambiente, ciencias veterinarias, ciencias vegetales, micología y parasitología, economía aplicada, ciencias de la alimentación, salud humana, nutrición y temas relacionados.

**Repositorio de Texto Completo de CABI:** garantiza que los artículos estén disponibles y sean fácilmente localizados por científicos y profesionales a nivel mundial.

**EBSCO** ofrece un repositorio de: documentos, audio libros, libros digitales y bases de datos que cubren diferentes áreas, niveles de investigación e instituciones: escuelas, bibliotecas públicas, universidades, entidades de salud, corporaciones y agencias gubernamentales.

**ENVIRONMENT INDEX:** Base de datos especializada; información en temáticas relacionadas con: agricultura, ciencias del mar y agua dulce, ecología de ecosistemas, geografía, energía, fuentes renovables de energía, recursos naturales, contaminación y gestión de residuos, tecnología ambiental, legislación ambiental, políticas públicas, planificación urbana e impactos sociales.

**FUENTE ACADEMICA PREMIER:** Esta base de datos proporciona una colección de revistas científicas de América Latina, Portugal y España; cubre todas las áreas temáticas con especial énfasis en agricultura, ciencias biológicas, economía, historia, derecho, literatura, filosofía, psicología, administración pública, religión y sociología.

**ProQuest** conserva amplia y variada información, tanto de archivos históricos, como de los avances científicos actuales y maneja tecnologías digitales que optimizan la búsqueda, intercambio y gestión de la información. ProQuest proporciona servicios en el ámbito académico, empresarial, gubernamental, bibliotecas escolares y públicas, así como servicios a los investigadores profesionales, que les permiten la adquisición estratégica, gestión y búsqueda de colecciones de información.

Actualmente RIAA es visible en las bases de datos: ProQuest Agricultultural Science Collection, ProQuest SciTech Collection y ProQuest Natural Science Collection.

**ProQuest Agricultultural Science Collection:** Proporciona una amplia cobertura de todos los temas de agricultura y es apoyada por la Biblioteca Agrícola Nacional de EE.UU. La interfaz aporta características avanzadas y herramientas que permiten a los investigadores más precisión en las revisiones de literatura especializada y adaptada a su área del estudio.

**ProQuest SciTech Collection:** Combina una serie de bases de datos especializadas en Ciencias Naturales, Tecnología e Ingeniería en una interfaz dinámica que permite acceso a texto completo mediante una búsqueda integral a través de amplios resúmenes gestionados por equipos editoriales de expertos.

**ProQuest Natural Science Collection:** Proporciona una vasta cobertura de literatura en el ámbito de: Agricultura, Biología, Geología, Ciencias de la Tierra y Ciencias Ambientales. Ofrece acceso a texto completo de fuentes que incluyen: publicaciones académicas, revistas profesionales, informes, libros, actas de conferencias y material de relevancia.

**Latindex** es un sistema de Información sobre las revistas de investigación científica, técnico-profesionales y de divulgación científica y cultural que se editan en los países de América Latina, el Caribe, España y Portugal. La idea de creación de Latindex surgió en 1995 en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y se convirtió en una red de cooperación regional a partir de 1997.

**PERIÓDICA** es una base de datos bibliográfica creada en 1978 en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La base de datos se actualiza diariamente y más de 10 mil registros son agregados cada año.

Ofrece alrededor de 336 mil registros bibliográficos de artículos originales, informes técnicos, estudios de caso, estadísticas y otros documentos publicados en cerca de 1 500 revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.

La Plataforma Open Access de Revistas Científicas Electrónicas Españolas y Latinoamericanas **e-Revistas**, es un proyecto impulsado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con el fin de contribuir a la difusión y visibilidad de las revistas científicas publicadas en América Latina, Caribe, España y Portugal.

**Dialnet** es una base de datos de acceso libre, creada por la Universidad de La Rioja (España), que difunde producción científica hispana.

# Producción de café (*Coffea arabica* L.) en respuesta al manejo específico de la fertilidad del suelo

# Production of coffee (*Coffea arabica* L.) in response to the specific handling of soil fertility

## *Produção de café (Coffea arabica L.) em resposta a gestão específica da fertilidade do solo*

**Luz Adriana Lince Salazar[1] & Siavosh Sadeghian Khalajabadi[2]**

[1] Geóloga, Estudiante de maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente en la Universidad de Manizales, Colombia. [2]Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias Agrarias énfasis Suelos, Doctor en Ciencias Agropecuarias énfasis Fisiología Vegetal.

[1, 2]Centro Nacional de Investigaciones de Café- CENICAFE. Manizales. Colombia.

[1]luz.lince@cafedecolombia.com, [2]Siavosh.Sadeghian@cafedecolombia.com

### Resumen

El estudio de la variabilidad espacial es el principal insumo para el manejo específico por sitio-MES, con fines de optimizar los recursos, al reducir los costos de producción de los cultivos y el impacto negativo sobre el ambiente. Con el objetivo de determinar el efecto del MES en la producción del café, durante los años 2011 y 2012 se realizó un experimento del manejo de la fertilidad del suelo en café (*Coffea arabica* L.), Variedad Castillo® en lotes con áreas diferentes (1,0, 2,0 y 3,5 ha), ubicados en tres fincas del departamento del Quindío, Colombia. Se evaluó el efecto de tres tratamientos en la producción de café cereza: i) testigo sin fertilización; ii) manejo de acuerdo a los resultados de los análisis de suelo, logrados mediante un muestreo convencional en zigzag y, iii) manejo por sitio específico conforme lo indicaron las áreas homogéneas, obtenidas mediante mapas de variabilidad espacial. En ninguno de los lotes hubo efecto de los tratamientos, respuesta que se relacionó con uno o más de los siguientes factores: tiempo relativamente corto de evaluación, fertilidad del suelo, reservas de los nutrientes en las plantas, y el número reducido de repeticiones (tres por tratamiento).

**Palabras clave:** *Coffea arabica* L., *fertilización, variabilidad espacial, geoestadística*

### Abstract

The study of variability it is the main input for site-specific management (SSM), has the objective of optimizing resources by reducing crops production costs and negative impact on the environment. In order to determine the effect to SSM in coffee production, during the years 2011 and 2012, a study of soil fertility management in coffee (*Coffea arabica* L.) Castillo® variety was undertaken. The experiment was developed in three plots of land of different areas (1.0, 2.0, and 3.5 has), located on three farms in the department of Quindío, Colombia. The effect of three treatments of fertilization in coffee cherry production was evaluated: (i) blank sample without

fertilization; (ii) management according to the results of the analysis of soil, using conventional sampling, and (iii) site-specific management according to homogeneous areas, obtained by spatial variability maps. However, effects of the treatments were not observed in none of the plots of land. This response was related with one or more of the following factors: the relatively short time of evaluation, soil fertility, reserves of nutrients in the plants, and the small number of repetitions (three per treatment).

**Key-words** *Coffea arabica* L., *fertilization, spatial variability, geostatistical*

## Resumo

O estudo da variabilidade especial é o principal insumo para o manejo específico por sitio-MES, sendo feito para otimizar os recursos ao reduzir os custos de produção das culturas e o impato negativo sobre o ambiente. O objetivo desse trabalho foi determinar o efeito de MES na produção de café, variedade Castillo®. Para tanto, foi feito um experimento de manejo da adubação do solo em áreas experimentais diferentes (1,0, 2,0 y 3,5 ha) localizadas em três rosas do estado de Quindio, Colômbia. Foi avaliado o efeito de três tratamentos na produção de café cereza: i) Testemunha sem adubação, ii) manejo de acordo aos resultados dos análises de solos, obtidos mediante amostragem convencional em “zigzag” e, iii) manejo por sitio específico conforme indicado pelas áreas homogêneas obtidas mediante mapas de variabilidade espacial. Nenhuma das áreas experimentais presentou efeito dos tratamentos, sendo que essa resposta foi relacionada com um ou mais dos seguintes fatores: tempo relativamente curto de avaliação, adubação do solo, reservas de nutrimentos nas plantas e o número reduzido de repetições (três por tratamento).

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L., adubação, variabilidade espacial, geoestatística

## Introducción

La producción de las especies cultivadas cambia a cortas y largas distancias en virtud de la variabilidad del clima, el suelo y el manejo (Blackmoore, Godwin & Fountas, 2003; Aggelopooulou, Castrignanò, Gemtos & Benedetto, 2013). En cuanto a este último factor, la fertilización ha sido señalada como la principal causa (de Paul & Lal, 2014; Barik, Aksakal, Islam, Sari & Angin, 2014). El conocimiento de la variabilidad espacial es una herramienta con la que se define el manejo por zonas homogéneas, que permite hacer un Manejo Especifico por Sitio-MES (Ferguson, Lark & Slater, 2003), por medio del cual se optimizan los recursos al reducir los costos (Cid-Garcia, Albornoz, Rios-Solis & Ortega, 2013) y el impacto negativo sobre el ambiente, lo que lo convierte en una de las estrategias de adaptación al cambio climático (Lal, 2004).

Los procedimientos que comúnmente se emplean para establecer zonas homogéneas son la representación de la variabilidad mediante mapas de contornos y la simulación estimada de la varianza de los valores de la interpolación (Goovaerts, 1998); en este sentido, los aspectos de mayor interés han sido las propiedades del suelo y la producción (Blackmore, 2000; Ferguson *et al*. 2002; Pedroso, Taylor, Tisseyre, Charnomordic & Guillaume, 2010; Zhu, Lin & Doolittle, 2013). Son ejemplo de lo anterior los estudios desarrollados por Moral, Terrón & Silva (2010), Kweon (2012), Scudiero *et al*. (2013), Peralta & Costa (2013) y Mouazen, Alhwaimel, Kuang & Waine (2014), basados bien sea en el análisis de las propiedades del suelo a nivel de laboratorio, o a través de la evaluación de la conductividad eléctrica medida en campo o mediante cambios geomorfológicos.

La interpolación se puede realizar por dos vías, la determinística y la geoestadística; esta última se basa en la teoría de regionalización de variables, con el uso de semivarigramas y métodos de predicción o extrapolación, con un nivel de confianza determinado (Wilding & Drees, 1983). Sus mayores aplicaciones para suelos, están en el mapeo de unidades, el estudio de génesis y el comportamiento de algunas propiedades físicas como límites de Atterberg y distribución de tamaño de partículas, y en menor proporción para la predicción de los nutrientes y la distribución de contaminantes (plaguicidas) (Krasilnikov, Carre & Montanarella, 2008), debido que para estos casos la semivarianza raramente muestra un modelo idealizado (Campbell, 1978; Burgess & Webster, 1980; Hattab, Hambli, Motelica-Heino & Mench, 2013).

Entre los estudios de MES de la fertilidad del suelo se pueden mencionar los realizados por Ortega & Santibáñez (2007) para el cultivo de maíz en Chile; Calderón, Martínez & Henao. (2008) para el cultivo del mango en Colombia, Rodríguez, González, Leiva & Guerrero (2008) para el cultivo de maíz en Colombia; Tesfahunegn, Tamene & Vlek (2011) para la planificación agrícola, forestal y servicios ambientales en Etiopia; Davatgar, Neishabouri & Sepaskhah (2012) para el cultivo de arroz en Irán. Pese al incremento constante en el uso del MES durante las últimas décadas, los resultados de algunas investigaciones sugieren que en parcelas pequeñas e irregulares es más compleja su implementación que el manejo convencional (Mouazen, *et al*. 2014). Al respecto, Cid-García *et al.* (2013) sostienen que es posible regularizar las áreas de los lotes mediante algoritmos de variabilidad.

Para Espinosa, Mite, Cedeño, Barriga & Andino (2005) la adopción del MES en los cultivos perennes que se cosechan manualmente, presenta ciertos retos relacionados con el alto costo inicial de la implementación, el desconocimiento de herramientas tecnológicas y la falta de monitoreo mecánico del rendimiento. Dicha situación se asemeja a las condiciones del cultivo de café en Colombia, del que se encuentra poca información al respecto; razón por lo que se realizó la presente investigación con el fin de determinar el efecto del MES en la producción del café a nivel de lote.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó entre los años 2011 y 2012, en la región cafetera del departamento del Quindío, en el flanco occidental de la cordillera central de Colombia, en las unidades de suelo Chinchiná y Quindío (*Typic Melanudands* y *Typic Hapludands,* respectivamente), según la denominación de la Federación Nacional de Cafeteros.

Se trabajó en tres lotes de café con diferentes áreas (1,0, 2,0 y 3,5 ha), ubicados en las fincas La Bella (municipio de Calarcá, vereda La Bella), La Herradura (municipio de Armenia, vereda Murillo) y El Cortijo (municipio de Armenia, vereda Mesopotamia), respectivamente. Geomorfológicamente el lote de 1,0 ha estaba conformado por dos subunidades geomorfológicas, una sima plana ubicada en las regiones norte y oeste, y otra zona de ladera o desprendimiento en la región centro occidental; el lote de 2,0 ha por una unidad geomorfológica de ladera con dirección de desprendimiento suroccidental, y el lote de 3,5 ha conformado por tres subunidades, una plana ubicada en la región más oriental, una secuencia de pequeñas laderas y simas producto de drenajes intermitentes, localizados en la región central y, finalmente, una zona de inclinación inferior a los 20° en la parte más oriental del lote. Los tres lotes estaban plantados con Variedad Castillo®, cuyas edades al inicio del experimento fueron de tres años, a plena exposición solar, densidades de siembra de 7700, 6400 y 7000 plantas/ha para los lotes de 1,0, 2,0 y 3,5 ha, respectivamente, y el manejo agronómico recomendado por Cenicafé.

Cada uno de los lotes fue georreferenciado mediante un sistema en retícula de 20 m x 20 m y

en cada punto se tomaron muestras compuestas de suelo (cuatro submuestras por punto) a una profundidad de 0 a 20 cm, adicionalmente, se realizó un muestreo en zigzag para cada uno de los lotes, conformado por 15 submuestras, también tomadas de 0 a 20 cm. Para ambos tipos de muestreo se evaluaron las siguientes propiedades, según las metodologías de análisis descritas por Carrillo (1985): pH, MO, P, K, Mg, Ca y Al.

Para la espacialización de las variables se partió de un análisis exploratorio, enfocado en tendencia central y dispersión, mediante el software Statgraphics; además, se tomó la distribución de las variables en las clases o rangos establecidas por Sadeghian (2008), como criterio para determinar cuáles de ellas requerían de espacialización por contar con representación superior al 10 % en dos o más clases.

En la interpolación se tuvieron en cuenta los métodos geoestadístico y determinístico (IDW inverse distance weighted). Para la aplicación del primero se verificó que el número de pares de datos fuera mayor o igual a 50 (Villatoro, Henriquez & Sancho, 2007), que se cumpliera con los supuestos geoestadísticos de normalidad, tendencia y estacionariedad, y se calcularon mediante asimetría y curtosis (-2 y 2), curvatura en el plano X-Y, y mapas de Voronoi, respectivamente. Posterior a la aplicación del método de interpolación, para obtener las zonas homogéneas los mapas se clasificaron de acuerdo a las categorías establecidas por Sadeghian (2008) para fertilización de cafetales en etapa de producción. El software empleado para la totalidad de este proceso fue ArcMap versión 10.

Con el fin de evaluar el efecto de la fertilización en la producción de café, basado en el estudio de espacialización, en cada lote se seleccionaron tres zonas contrastantes (tres bloques); en cada uno se establecieron tres parcelas de 45 plantas (21 efectivas) que correspondieron a los tratamientos: i) testigo sin fertilización; ii) manejo de N, P, K y cal para la corrección de acidez, de acuerdo a los resultados de los análisis de suelo, logrados mediante un muestreo convencional en zigzag y, iii) manejo por sitio específico, conforme lo indicaron las áreas homogéneas, obtenidas mediante mapas de variabilidad espacial, en el cual se aplicaron dosis de fertilizantes para N, P y K, además de cal para la corrección de acidez. En cada una de las fincas se registró la producción de café cereza durante 20 meses (abril a diciembre de 2011 y enero a diciembre de 2012). Se realizó un análisis de varianza con el fin de evaluar el efecto de los tratamientos en la producción obtenida en cada año y el acumulado. El software empleado para el análisis estadístico de la evaluación de los tratamientos fue Statgraphics Centurion 15.2.

## Resultados y discusión

En el ámbito general se presentó el siguiente orden en el coeficiente de variación para las propiedades del suelo: P>Ca>K>Mg>MO>pH (Tabla 1), resultados que concuerdan con los reportes de Lozano et al. (2004) y Cora & Bachmeier (2006) y difieren parcialmente de los presentados por Sadeghian (2010), en los cuales K y P representan menor variabilidad que Mg. La menor variabilidad del pH se puede deber a que éste se mide en escala logarítmica, y por consiguiente se reduce la expresión de la variabilidad; la mayor variabilidad en P se atribuye a la relación que se da entre la aplicación de fertilizantes y la poca movilidad del elemento en el suelo (Roger *et al*., 2014).

***Tabla 1.*** *Estadísticos descriptivos para las propiedades químicas de los suelos en los lotes evaluados***.**

| Estadístico | pH | MO | K | Ca | Mg | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (%) | ——— (cmolc.kg-1) ——— | | | ——— (mg.kg-1) ——— |
| | ——— Lote de 1,0 ha (n = 25) ——— | | | | | |
| Mínimo | 4,50 | 5,70 | 0,15 | 0,14 | 0,07 | 36,00 |
| Máximo | 5,20 | 9,40 | 0,52 | 1,94 | 0,40 | 280,00 |
| Media | 4,78 | 7,96 | 0,25 | 0,76 | 0,20 | 93,84 |
| Mediana | 4,80 | 8,20 | 0,23 | 0,61 | 0,19 | 78,00 |
| Moda | 4,80 | 9,40 | 0,20 | 0,37 | 0,19 | 78,00 |
| CV (%) | 3,00 | 13,00 | 37,00 | 63,00 | 35,00 | 65,00 |
| Asimetría | 0,52 | -0,70 | 1,50 | 1,07 | 0,87 | 2,24 |
| Curtosis | 0,86 | 0,20 | 2,38 | 0,48 | 1,76 | 5,28 |
| | ——— Lote de 2,0 ha (n = 50) ——— | | | | | |
| Mínimo | 4,30 | 4,00 | 0,08 | 0,46 | 0,13 | 5,00 |
| Máximo | 5,80 | 9,20 | 0,72 | 6,55 | 1,95 | 112,00 |
| Media | 5,14 | 6,57 | 0,24 | 2,24 | 0,54 | 27,62 |
| Mediana | 5,20 | 6,45 | 0,21 | 2,00 | 0,47 | 17,50 |
| Moda | 5,20 | 5,90 | 0,26 | 1,05 | 0,45 | 33,00 |
| CV (%) | 6,00 | 17,00 | 52,00 | 60,00 | 58,00 | 94,00 |
| Asimetría | -0,38 | 0,14 | 1,68 | 1,14 | 1,95 | 1,74 |
| Curtosis | 0,72 | 0,16 | 3,70 | 1,31 | 7,02 | 2,27 |
| | ——— Lote de 3,5 ha (n = 88) ——— | | | | | |
| Mínimo | 4,40 | 5,70 | 0,19 | 0,26 | 0,10 | 4,00 |
| Máximo | 5,90 | 18,10 | 1,22 | 4,31 | 1,18 | 32,00 |
| Media | 5,15 | 13,40 | 0,47 | 1,09 | 0,35 | 11,40 |
| Mediana | 5,10 | 13,60 | 0,41 | 0,91 | 0,32 | 11,00 |
| Moda | 5,10 | 10,90 | 0,34 | 1,03 | 0,30 | 9,00 |
| CV (%) | 5,00 | 18,00 | 44,00 | 67,00 | 49,00 | 43,00 |
| Asimetría | 0,15 | -0,44 | 1,56 | 2,43 | 2,52 | 1,18 |
| Curtosis | 0,84 | 0,53 | 2,99 | 7,14 | 9,73 | 2,64 |

La categorización de las propiedades, indicó para el lote de 1,0 ha una distribución homogénea de pH, P, Ca y Mg (Figuras 1, 2, 3 y 4), sugiriendo un manejo generalizado de dichas variables; en contraste, la MO y K (Figuras 5 y 6) presentaron heterogeneidad, por lo tanto se definió un manejo diferencial. En el lote de 2,0 ha, sólo la MO presentó valores en una única clase y en el lote de 3,5 ha, todas las variables presentaron heterogeneidad; por ende, precisaron de manejo diferencial. Los resultados de variabilidad coinciden con lo reportado por Hu, Wang, Li, Huang & Li (2014), Shi *et al*. (2014), Barba, Curiel Yuste, Martinez-Vilalta & Lloret (2013), Molina, Latron, Rubio, Gallart & Llorens (2014) y Liu *et al.* (2015), quienes mencionan que ésta aumenta con el incremento del tamaño del lote, además de verse afecta por el manejo y la topografía; siendo esta última la posible explicación por la cual el lote de 1,0 ha presentó mayor variabilidad de MO en comparación con el lote de 2,0 ha, ya que en el primero la geomorfología estaba conformada por dos subunidades, una sima plana y una zona de ladera o desprendimiento en el que se reportaron los menores valores, mientras que el lote de 2,0 ha estaba representado por una subunidad geomorfológica conformada por una ladera de pendiente uniforme.

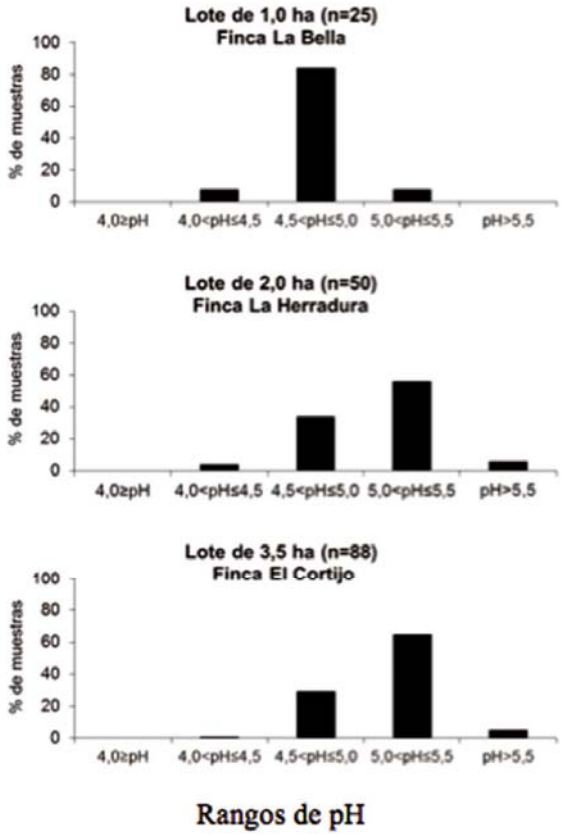


**Figura 1.** Histogramas de frecuencia para pH en los lotes evaluados.

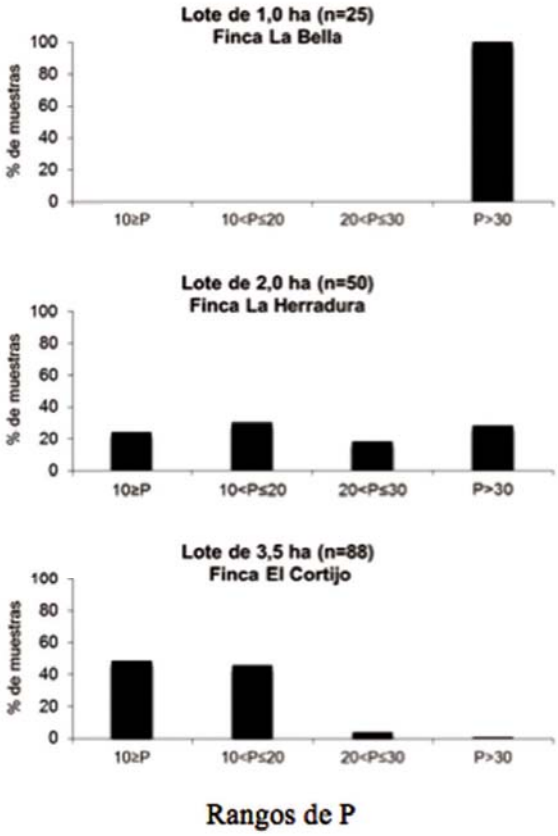


**Figura 2.** Histogramas de frecuencia para P ($mg.kg^{-1}$) en los lotes evaluados.

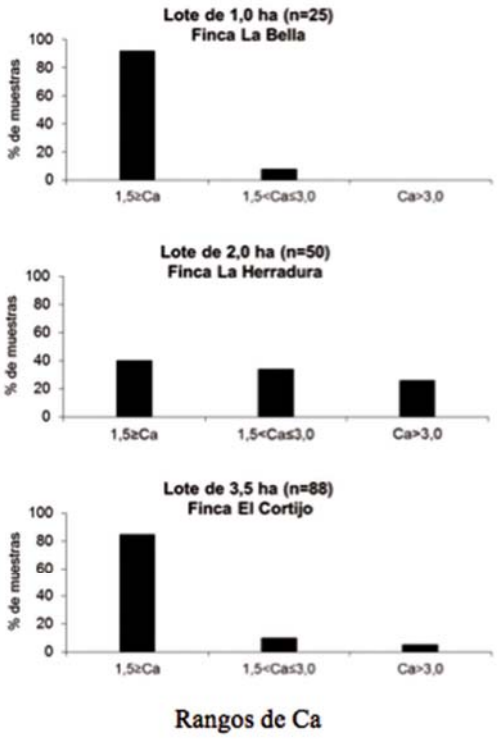


**Figura 3.** Histogramas de frecuencia para Ca ($cmol_c.kg^{-1}$) en los lotes evaluados.

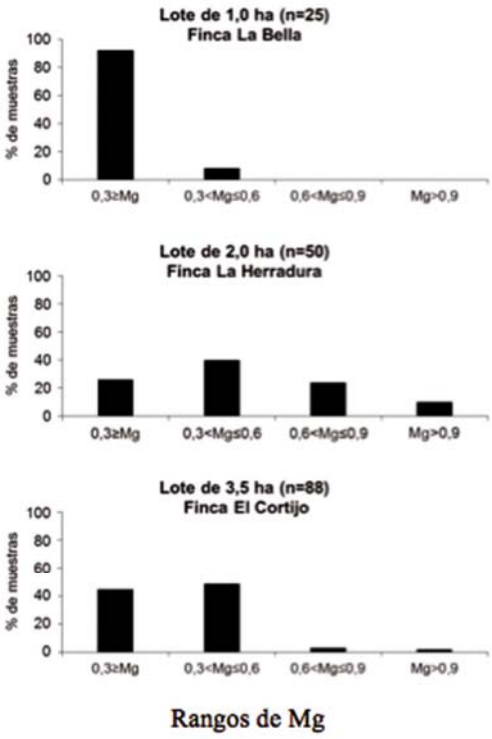


**Figura 4.** Histogramas de frecuencia para Mg ($cmol_c.kg^{-1}$) en los lotes evaluados.

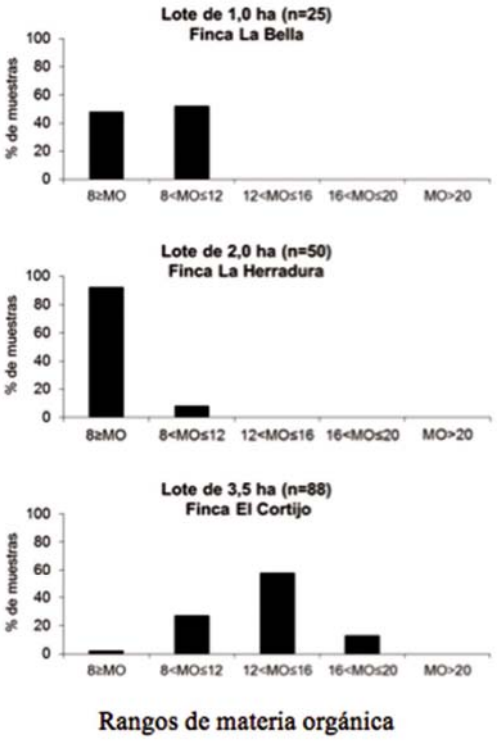


**Figura 5.** Histogramas de frecuencia para MO (%) en los lotes evaluados.

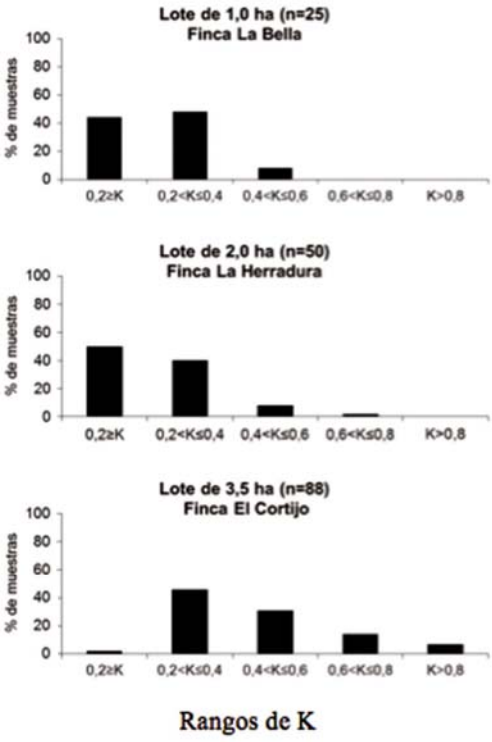


**Figura 6.** Histogramas de frecuencia para K ($cmol_c.kg^{-1}$) en los lotes evaluados.

En el lote de 1,0 ha se aplicó el método IDW para espacializar las propiedades del suelo que requirieron de un manejo diferencial (Tabla 2); esto en razón de que el bajo número de datos analizados (<50) no cumplía con los requisitos del método geoestadístico (Villatoro, Henriquez & Sancho, 2007). En el lote de 2,0 ha, el pH se espacializó mediante un Kriging ordinario, y las demás propiedades por el método IDW (Figura 3), debido a que no cumplieron con los supuestos de normalidad, estacionariedad y tendencia. En el lote de 3,5 ha, sólo pH y MO cumplieron con el supuesto de normalidad y, al igual que las otras, presentaron tendencia en una o ambas coordenadas, en las que el método de transformación que permitió cumplir los supuestos geoestadísticos involucró la interacción de las propiedades con las coordenadas, limitando así la clasificación de los mapas en términos de aplicación de dosis de fertilizante. Una de las posibles razones por las que las variables no cumplieron con los supuestos geoestadísticos es que la distribución natural se ve afectada por el manejo antrópico, representado por la aplicación generalizada e histórica de fertilizantes y enmiendas. Otra causa a considerar es el pequeño tamaño de los lotes seleccionados y, en este caso, el hecho que la distancia de muestreo y el número de muestras fueran reducidos en comparación con otros estudios del mismo tipo.

***Tabla 2.*** *Resultados de la interpolación de las propiedades químicas de los suelos en los lotes evaluados*

| Propiedad | Método | Modelo | Semieje mayor, m | RMSE |
|---|---|---|---|---|
| ——— Lote de 1,0 ha ——— | | | | |
| MO | IDW | 6,429 + 0,179 x | 36,39 | 0,93 |
| K | IDW | 0,139 + 0,389 x | 35,39 | 0,07 |
| ——— Lote de 2,0 ha ——— | | | | |
| pH | Kriging | 4,811 + 0,064 x | 42,65 | 0,29 |
| P | IDW | 29,637 - 0,008 x | 34,32 | 25,84 |
| K | IDW | 0,169 + 0,321 x | 52,32 | 0,12 |
| Ca | IDW | 2,320- 0,022 x | 80,32 | 1,43 |
| Mg | IDW | 0,459 + 0,155 x | 80,32 | 0,31 |
| ——— Lote de 3,5 ha ——— | | | | |
| pH | IDW | 4,316 + 0,158 x | 65,71 | 0,23 |
| MO | IDW | 11,371 + 0,153 x | 60,71 | 2,19 |
| P | IDW | 10,555 + 0,0695 x | 109,71 | 4,83 |
| K | IDW | 0,335 + 0,254 x | 50,71 | 0,17 |
| Ca | IDW | 1,029 + 0,04554 x | 126,71 | 0,72 |
| Mg | IDW | 0,264 + 0,18933 x | 126,71 | 0,15 |

IDW: peso inverso de la distancia; RMSE: raíz del error cuadrático medio

Los resultados de espacialización de las variables, coinciden con lo reportado por Rodríguez *et al.* (2008), al indicar que son igualmente validos los métodos determinísticos como los geoestadísticos, y en algunos casos la interpolación por el método IDW presenta mejores resultados que el Kriging en términos de la correlación con los valores medidos obtenidos en campo (Villatoro *et al*., 2007;

Gong, Mattevada & O'Bryant, 2014). Con respecto a la definición de las zonas homogéneas, los resultados concuerdan con los reportado por varios autores (Ortega & Santibáñez, 2007; Calderon *et al*., 2008; Xin-Zong *et al.,* 2009; Silva, Lima, Souza & Oliveir, 2010; Tesfahunegn *et al*., 2011; Liu *et al.,* 2014), al indicar que es factible la determinación de zonas con altos y bajos niveles de nutrientes. Sin embargo, hay que tener precauciones al emplear el método IDW, ya que si no se ajustan adecuadamente los parámetros correspondientes al número de vecinos y la distancia de los semiejes, es posible tener islas con efecto "ojo de buey". Por otro lado la marcada tendencia en ambas coordenadas se puede atribuir a patrones geomorfológicos, que según Sigua, Hubbard & Coleman (2010) han sido poco estudiados en términos de variabilidad de las propiedades del suelo.

En ninguno de los lotes se registró efecto de los tratamientos en la producción de café cereza, ni los dos años (2011 y 2012) ni en el acumulado (Tabla 3). Al respecto, se debe resaltar que los resultados obtenidos pueden no ser del todo concluyentes; de los cuales, la igualdad estadística de los resultados del tratamiento sin fertilización, con los de la aplicación generalizada y el MES, posiblemente se debieron a varios factores no relacionados con el manejo de los tratamientos; entre ellos el número reducido de repeticiones (tres), lo que generó que en varios casos las dosis de los tratamientos del manejo específico y el general fueran similares, (Tabla 4); el tiempo relativamente corto de evaluación, la fertilidad del suelo, las estructuras vegetativas formadas antes del inicio del experimento, y las reservas de los nutrientes en las plantas, debido a que el efecto de la fertilización en la producción de café puede no manifestarse en el primer año en el que se inicia el trabajo de investigación sino al siguiente, ya que el fertilizante suministrado influye principalmente sobre el crecimiento de ese año y la producción del grano tiene lugar en las ramas formadas el año anterior (Mestre, 1977). Resultados similares reportaron Uribe & Salazar (1981); Uribe (1983) y Sadeghian (2006; 2009) en investigaciones tendientes a evaluar la respuesta de la planta de café a fertilizantes.

***Tabla 3.*** *Valores promedio de la producción de café cereza en las parcelas experimentales.*

| Tratamiento | Producción café cereza, kg/parcela | | |
|---|---|---|---|
| | Año 2011 | Año 2012 | Total |
| | ——— Finca La Bella ——— | | |
| Sin fertilización | 14,03 ± 0,59 | 26,41 ± 0,75 | 40,44 ± 0,66 |
| Fertilización general | 17,77 ± 1,03 | 38,81 ± 1,15 | 56,58 ± 2,17 |
| Fertilización especifica | 16,82 ± 2,12 | 28,31 ± 4,44 | 45,13 ± 6,38 |
| | ——— Finca La Herradura ——— | | |
| Sin fertilización | 35,73 ± 3,38 | 42,35 ± 2,81 | 78,08 ± 0,75 |
| Fertilización general | 30,85 ± 1,06 | 45,85 ± 3,36 | 76,69 ± 3,09 |
| Fertilización especifica | 37,67 ± 0,97 | 47,79 ± 3,26 | 85,46 ± 4,19 |
| | ——— Finca El Cortijo ——— | | |
| Sin fertilización | 20,29 ± 2,18 | 54,26 ± 7,18 | 74,55 ± 7,04 |
| Fertilización general | 18,45 ± 2,00 | 53,44 ± 8,77 | 71,89 ± 6,78 |
| Fertilización especifica | 18,13 ± 1,46 | 49,58 ± 5,81 | 67,71 ± 4,50 |

Año 2011: abril-diciembre; Año 2012: enero-diciembre; Total: abril 2011-diciembre 2012.
Las desviaciones corresponden al error estándar.

***Tabla 4.*** *Dosis de fertilizante aplicado en las parcelas experimentales.*

| Tratamiento | Nitrógeno (N) | Fósforo ($P_2O_5$) | Potasio ($K_2O$) | Magnesio (MgO) | Cal |
|---|---|---|---|---|---|
| | ——— kg/ha/año ——— | | | | kg/ha/2 años |
| | ——— Finca La Bella ——— | | | | |
| Fertilización general | 300 | 0 | 260 | 60 | 1000 |
| Fertilización especifica R1 | 280 | 0 | 0 | 60 | 1000 |
| Fertilización especifica R2 | 300 | 0 | 300 | 60 | 1000 |
| Fertilización especifica R3 | 280 | 0 | 260 | 60 | 1000 |
| | ——— Finca La Herradura ——— | | | | |
| Fertilización general | 300 | 21 | 260 | 40 | 0 |
| Fertilización especifica R1 | 300 | 21 | 260 | 40 | 0 |
| Fertilización especifica R2 | 300 | 0 | 260 | 15 | 0 |
| Fertilización especifica R3 | 300 | 21 | 300 | 60 | 0 |
| | ——— Finca El Cortijo ——— | | | | |
| Fertilización general | 300 | 0 | 260 | 60 | 1000 |
| Fertilización especifica R1 | 260 | 40 | 260 | 60 | 1000 |
| Fertilización especifica R2 | 260 | 60 | 140 | 40 | 400 |
| Fertilización especifica R3 | 260 | 40 | 260 | 60 | 1000 |

R = repetición

Por otro lado, sin tener en cuenta el tratamiento sin fertilización y con base en la igualdad estadística de la producción de los tratamientos de manejo general y MES, se considera que es factible realizar un MES, siempre y cuando se justifiquen los costos adicionales; ya que como lo menciona Sadeghian (2008) las aplicaciones del MES para la nutrición del café, cambian según las condiciones del sistema, pues no es lo mismo una explotación mediana o grande en Brasil que en Colombia, conociendo que en éste último más del 80 % de los lotes están por debajo de tamaño de una hectárea, lo que lleva a pensar que muchos productores ya estarían dando un MES a sus cafetales si emplean análisis de suelos.

## Conclusiones

No fue posible determinar el efecto de las diferentes alternativas de manejo en la producción, posiblemente porque el tiempo de evaluación fue corto y el número de repeticiones reducido.

La variabilidad de la fertilidad del suelo puede estar relacionada con el tamaño del lote y los cambios geomorfológicos.

La alta exigencia del método geoestadístico en cuanto a distribución normal, estacionariedad y tendencia de los datos, hace que el método determinístico sea una herramienta eventualmente útil para el establecimiento de zonas homogéneas.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Comité Departamental de Cafeteros del Quindío, especialmente a los ingenieros Germán Huertas y Gloria Hincapié, a los colaboradores Anderson Artunduaga y Santiago Arango. A los caficultores propietarios y administradores de las fincas experimentales. A Cenicafé, al investigador científico Hernán Gonzáles, al señor Arturo Gómez y a los colaboradores de la estación experimental Paraguacito.

### Literatura citada

1. Aggelopooulou, K., Castrignanò, A., Gemtos, T. & Benedetto, D.D. (2013). Delineation of management zones in an apple orchard in Greece using a multivariate approach. *Computers and Electronics in Agriculture, 90,* 119-130.
2. Barba, J., Curiel Yuste, J., Martinez-Vilalta, J. & Lloret, F. (2013). Drought-induced tree species replacement is reflected in the spatial variability of soil respiration in a mixed *Mediterranean forest. Forest Ecology and Management, 306*, 79-87.
3. Barik, K., Aksakal, E.L., Islam, K.R., Sari, S. & Angin, I. (2014). Spatial variability in soil compaction properties associated with field traffic operations. *Catena*, *120*, 122-133.
4. Blackmore, S. (2000). The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and electronics in agriculture, 26*(1), 37-51.
5. Blackmore, S., Godwin, R.J. & Fountas, S. (2003). The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems engineering, 84(*4), 455-466.
6. Burgess, T.M. & Webster, R. (1980). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I. The semivariogram and punctual Kriging. *J. Soil Sci., 31*:315–331.
7. Calderón, C.A.V., Martínez, L.J.M. & Henao, R.G. (2008). Variabilidad espacial del suelo y su relación con el rendimiento de mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 1146-1151.
8. Campbell, J.B. (1979). Spatial Variability of soils. *Annals of the Association of American Geographers, 69:* 544–556.
9. Carrillo P., I.F. (1985). Manual de laboratorio de suelos. Chinchiná, Cenicafé, 111 p.
10. Cid-Garcia, N.M., Albornoz, V., Rios-Solis, Y.A. & Ortega, R. (2013). Rectangular shape management zone delineation using integer linear programming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 93, 1-9.
11. Cora, A. & Bachmeier, O. (2006). Número mínimo de muestras necesario para un muestreo edáfico en el Chaco Árido de Córdoba (Argentina). *Multequina, 15*, 97-102.
12. Davatgar, N., Neishabouri, M. R. & Sepaskhah, A.R. (2012). Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma, 173*, 111-118.
13. de Paul Obade, V. & Lal, R. (2014). Using meta-analyses to assess pedo-variability under different land uses and soil management in central Ohio, USA. *Geoderma, 232*, 56-68.
14. Espinosa, J., Mite, F., Cedeño, S., Barriga, S. & Andino, J. (2005). Manejo por Sitio Específico del Cacao Basado en Sistemas de Información Geográfica. INIAP, Pichilingue, Ecuador.
15. Ferguson, R.B., Hergert, G.W., Schepers, J.S., Gotway, C.A., Cahoon, J.E. & Peterson, T.A. (2002). Site-specific nitrogen management of irrigated maize. *Soil Science Society of America Journal, 66*(2), 544-553.
16. Ferguson, R.B., Lark, R.M. & Slater, G.P. (2003). Approaches to management zone definition for use of nitrification inhibitors. *Soil Science Society of America Journal, 67*(3), 937-947.
17. Goovaerts, P. (1998). Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of soils, 27*(4), 315-334.
18. Gong, G., Mattevada, S. & O'Bryant, S.E. (2014). Comparison of the accuracy of Kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environmental research, 130*, 59-69.
19. Hattab, N., Hambli, R., Motelica-Heino, M. & Mench, M. (2013). Neural network and Monte Carlo simulation approach to investigate variability of copper concentration in phytoremediated contaminated soils. *Journal of environmental management, 1*29, 134-142.
20. Hu, K., Wang, S., Li, H., Huang, F. & Li, B. (2014). Spatial scaling effects on variability of soil organic matter and total nitrogen in suburban Beijing. *Geoderma, 226*, 54-63.
21. Kweon, G. (2012). Delineation of site-specific productivity zones using soil properties and topographic attributes with a fuzzy logic system. *Biosystems Engineering, 11*2(4), 261-277.
22. Krasilnikov, P., Carre, F. & Montanarella, L. (2008). Soil Geography and Geostatistics. Concepts and Applications. JRC Scientific and Technical Reports, Chapter 1. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp 204.
23. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science, 304*(5677), 1623-1627.
24. Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., He, P., Lei, Q. & Liang, G. (2014). A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields in South China. *Geoderma, 235,* 39-47.
25. Liu, S., An, N., Yang, J., Dong, S., Wang, C. & Yin, Y. (2015). Prediction of soil organic matter variability associated with different land use types in mountainous landscape in southwestern Yunnan province, China. *Catena, 133*, 137-144.
26. Lozano, Z., Bravo, C., Ovalles, F., Hernández, R. M.,

Moreno, B., Piñango, L. & Villanueva, J.G. (2004). Selección de un diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro, 1*6(1), 61-72.

**27.** Mestre, A. (1977). Determinación de la rata óptima de fertilización en plantaciones de café sin sombrío. *Cenicafé 28*(2):51-60.

**28.** Molina, A. J., Latron, J., Rubio, C. M., Gallart, F. & Llorens, P. (2014). Spatio-temporal variability of soil water content on the local scale in a Mediterranean mountain area (Vallcebre, North Eastern Spain). How different spatio-temporal scales reflect mean soil water content. *Journal of Hydrology*.

**29.** Moral, F.J., Terrón, J.M. & Silva, J.R. (2010). Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil and Tillage Research, 106*(2), 335-343.

**30.** Mouazen, A.M., Alhwaimel, S.A., Kuang, B. & Waine, T. (2014). Multiple on-line soil sensors and data fusion approach for delineation of water holding capacity zones for site specific irrigation. *Soil and Tillage Research, 143*, 95-105.

**31.** Ortega, R.A. & Santibáñez, O.A. (2007). Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture, 58*(1), 49-59.

**32.** Peralta, N.R. & Costa, J.L. (2013). Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture, 99*, 218-226.

**33.** Rodríguez, J., González, A.M., Leiva, F.R. & Guerrero, L. (2008). Fertilización por sitio específico en un cultivo de maíz (Zea mays L.) en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana, 26(*2), 308-321.

**34.** Roger, A., Libohova, Z., Rossier, N., Joost, S., Maltas, A., Frossard, E. & Sinaj, S. (2014). Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. *Geoderma, 217*, 26-36.

**35.** Pedroso, M., Taylor, J., Tisseyre, B., Charnomordic, B. & Guillaume, S. (2010). A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones. *Computers and Electronics in Agriculture, 70(*1), 199-208.

**36.** Sadeghian, S., García, J. C. & Montoya, E. C. (2006). Respuesta del cafeto a la fertilización con N, P, K y Mg en dos fincas del departamento del Quindío. *Cenicafé 56(*4):58-69.

**37.** Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. Boletín técnico N° 32 Cenicafé.

**38.** Sadeghian, S. (2009). Calibración de análisis de suelo para N, P, K y Mg en cafetales al sol y bajo semisombra. *Cenicafé 60* (1): 7-24.

**39.** Sadeghian, S. (2010). Evaluación de la fertilidad del suelo para una adecuada nutrición de los cultivos. Caso café. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Santo Domingo, Ecuador 17 – 19 noviembre.

**40.** Scudiero, E., Teatini, P., Corwin, D. L., Deiana, R., Berti, A. & Morari, F. (2013). Delineation of site-specific management units in a saline region at the Venice Lagoon margin, Italy, using soil reflectance and apparent electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture, 99,* 54-64.

**41.** Shi, S.Q., Cao, Q.W., Yao, Y.M., Tang, H.J., Yang, P., Wu, W.B. & Li, Z.G. (2014). Influence of Climate and Socio-Economic Factors on the Spatio-Temporal Variability of Soil Organic Matter: A Case Study of Central Heilongjiang Province, China. *Journal of Integrative Agriculture, 13*(7), 1486-1500.

**42.** Sigua, G.C., Hubbard, R.K. & Coleman, S.W., (2010). Quantifying phosphorus levels in soils, plants, surface water, and shallow groundwater associated with bahiagrass-based pastures. *Environmental Science and Pollution Research, 17*(1), 210-219.

**43.** Silva, A.F. da., Lima, J.S.S. da., Souza, G.S. & Oliveira, R.B. (2010). Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (*Coffea arabica L.*) sob diferentes manejos. *Coffee Science, 5*(2), 173-182.

**44.** Tesfahunegn, G.B., Tamene, L. & Vlek, P.L. (2011). Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. *Soil and Tillage Research, 117*, 124-139.

**45.** Uribe, A. & Mestre, A. (1976). Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción de café. *Cenicafé 27*(4):158-173.

**46.** Uribe, A. (1983). Efecto del fósforo en la producción de café. *Cenicafé 34*(1):3-15.

**47.** Uribe, A. & Salazar, J.N. (1981). Efecto de los elementos menores en la producción de café. *Cenicafé 32*(4):122-142.

**48.** Villatoro, M., Henríquez, C. & Sancho, F. (2007). Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense, 32*(1):95-105.

**49.** Wilding, L.P. & Drees, L.R. (1983). Spatial variability. In Pedogenesis and soil Taxonomy. I. Concepts and interactions, by L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall (Editors), 83 – 116.

**50.** Xin-Zhong, W., Guo-Shun, L., Hong-Chao, H., Zhen-Hai, W., Qing-Hua, L., Xu-Feng, L. & Yan-Tao, L. (2009). Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture, 65*(2), 168-175.

**51.** Zhu, Q., Lin, H.S. & Doolittle, J.A. (2013). Functional soil mapping for site-specific soil moisture and crop yield management. *Geoderma, 200*, 45-54.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 27 de enero de 2015
Aceptado: 02 de marzo de 2015

# Evaluación de sustratos orgánicos para la aclimatación y endurecimiento de vitroplantas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)

# Evaluation of organic substrates for acclimatization and hardening of vitroplants of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)

## *Avaliação de substratos orgânicos para aclimatação e endurecimento das mudas de mandioca (Manihot esculenta* Crantz*)*

**Miguel Macgayver Bonilla Morales[1], Sergio Adolfo Sánchez Ordoñez[2] & Jorge Pachón García[3]**

[1]Licenciado en Producción Agropecuaria, Magister en Ciencias Biológicas con énfasis en Recursos Fitogenéticos Neotropicales. [2]Licenciado en Producción Agropecuaria. 3Biólogo, Especialista en Recursos Fitogenéticos. Magister en Ciencias Biológicas, Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias de la Universidad de los Llanos. Villavicencio. Meta. Colombia

[1]Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira. Colombia. [2]Unidad Educativa trietnica YAALIAKEISY. Puerto Gaitán. Meta. Colombia. 3Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías. Universidad de los Llanos. Villavicencio. Meta. Colombia

[1]mmbonillam@unal.edu.co, [2]sergio-lpa@hotmail.com, [3]jotapachon@hotmail.com

**Resumen**

La adaptación de las vitroplantas a condiciones fisiológicas ambientales (endurecimiento) es uno de los puntos más críticos del proceso de obtención de plantas a través del cultivo de tejidos. De tal manera, el cuello de botella de la producción de material es la etapa *ex vitro*, aun en yuca donde se han reportado cifras que alcanzan el 90% de pérdidas. Por tal motivo, el objetivo fue definir sustratos orgánicos que permitirán la aclimatación y crecimiento de vitroplantas de yuca (*Manihot esculenta*) variedad brasilera. Por esta razón, se evaluaron tres tipos de sustratos orgánicos: MB 1 (humus sólido + cascarilla de arroz seca 1:1), MB2 (humus sólido + viruta 1:1) y MB (Bocashi) para el endurecimiento de plantas con 8 semanas *in vitro*. El sustrato MB1 permitió la sobrevivencia y adaptación del 80% de las vitroplantas, en comparación con el MB2 32,5% y el MB sin ninguna. El tiempo de duración de la etapa *ex vitro* fue hasta 60 días y su relación con el número de nudos (12), hojas (8) y a la altura de las plantas (31 cm) es el más representativo para el MB1. En conclusión, el sustrato MB1 es considerado el idóneo, tanto a nivel nutricional como componente estructural del suelo al tener una porosidad adecuada para el enraizamiento de la planta y permitir una mejor adaptación en fase de campo.

**Palabras clave:** cultivo de tejidos, *ex vitro*, *in vitro*, recurso fitogenético.

## Abstract

The adaptation of vitroplants at physiological environmental conditions (hardening) is one of the most critical points in the process of obtaining plants through tissue culture. Thus, the bottleneck of the material production is the *ex vitro* stage, even for cassava production, where the figures reported reached 90% of loss. The objective of this study was to define organic substrates that allowed acclimatization and growth of cassava plantlets (*Manihot esculenta*) Brazilian variety. MB 1 (solid humus + husk dry rice 1:1), MB2 (solid humus + shaving 1: 1) and MB (Bocashi) for hardening of 8 weeks in vitroplants. The substrate MB1 allowed the survival and adaptation of 80% of the vitroplants, compared with 32.5% and 0% for MB2 and MB respectively. The duration of *ex vitro* stage was up to 60 days ; in the case of MB1, its relation to the number of nodes (12), leaves (8) and plant height (31 cm) is the most representative. In conclusion, the MB1 substrate is considered suitable both nutritional level and structural component of the soil for having an adequate porosity for rooting of plant and an ideal adaptation field phase.

**Key-words:** *in vitro*, plant genetic resource, tissue culture.

## Resumo

A adapatação de vitroplantas a condições fisiológicas ambientais (endurecimento) é um dos pontos mais críticos do procceso de obtenção de plantas através da cultura de tecidos. Nesse sentido, o gargalho da produção de material é a etapa ex vitro, mesmo em mandioca onde tem-se reportado dados que atingem 90% de perdas. Por tal motivo, o objetivo desse trabalho foi definir substratos orgânicos que permitirão a aclimatação e crescimento de vitroplantas de mandioca (Manihot esculenta) variedades brasileira. Três tipos de substratos foram avaliados: MB1 (humus sólido + casca de arroz seca 1:1), MB2 (humus sólido + viruta 1:1) y MB (Bocashi) para o endurecimento de plantas com oito semanas in vitro. O substrato MB1 possibilitou a supervivência y adaptação de 80% das viroplantas em relação com MB2 (32.5%) e MB sem nenhuma. O período de tempo da etapa ex vitro foi até de 60 dias e a sua relação com o número de nodos (12), folhas (8) e altura das plantas (31 cm) foi o mais representativo para o tratamento MB1. Como conclusão, o substrato MB1 é considerado ideal quanto a nível nutricional como componente esrtructural do solo por ter uma porosidade adequada para o enraizamento da planta e permitir uma adequanda adaptação em fase de campo.

**Palavras-chave:** cultura de tecidos, ex vitro, *in vitro,* recursos genéticos de plantas

## Introducción

Tradicionalmente, la yuca ha sido una fuente de carbohidratos para sectores de la población con bajos niveles de ingresos a nivel mundial, por lo que su cultivo es considerado uno de los recursos fitogenéticos más importantes en la seguridad alimentaria (Bonilla, Pachón & Moreno, 2015). En cuanto a los componentes agronómicos de raíces y tubérculos en Latinoamérica, dentro de las bondades del cultivo de la yuca, se resaltan su alto rendimiento en condiciones del trópico, como son los bajos niveles de fertilidad y acidez en el suelo (Suárez & Mederos, 2011).

La yuca presenta otros usos, dentro de estos, su follaje que ha sido utilizado como fuente de proteína para la producción animal en sistemas agroforestales (Preston *et al*., 1987; Souza *et al*., 2006). Actualmente, este cultivo ha tomado una nueva dimensión debido a sus altos potenciales de rendimiento y sus nuevos usos industriales, especialmente, para la producción de biocombustible, por lo que se ha producido un incremento en las áreas de cultivo con fines de generar combustibles alternativos (Cortés, Chavarriaga & López, 2010).

Durante, el proceso de cultivo de tejidos vegetales en yuca, la etapa *ex vitro* resulta ser una limitante para finalizar la aclimatación y su posterior salida a campo (Segovia *et al*., 2002; Laynez & Sánchez 2006; Marín, Albarrán, Fuenmayor & Perdomo 2009). Inicialmente, las plantas deben ajustar su fisiología estomática a las condiciones de evapotranspiración imperantes y activar la toma de agua y nutrientes a través del sistema radicular (Bonilla, Mancipe & Aguirre, 2015). Los sustratos utilizados en el proceso de endurecimiento son variados y todos coinciden en permitir un buen drenaje del suelo de manera que se mantengan los niveles de humedad requeridos y se evite la contaminación con patógenos (Bonilla, Sánchez & Pachón, 2015).

La etapa *ex vitro* exige que en el invernadero se controle la humedad, temperatura, luminosidad, un sustrato aséptico y una debida nutrición para la aclimatación (Bonilla & Hernández, 2012). Por eso, al no aplicar la tecnología idónea para la etapa de endurecimiento, se pueden alcanzar pérdidas entre 50 y 95% (Segovia *et al*., 2002). En este orden lógico, los costos de manejo *ex vitro* versus la pérdida de vitroplantas resultan ser altos, lo cual sumado con los procesos a nivel de introducción y procesamiento del material vegetal *in vitro*, no sería una alternativa rentable de producción masiva de plantas. Por tal razón, el objetivo de esta investigación fue evaluar sustratos orgánicos de fácil acceso y preparación que permitan mejorar los procesos de adaptación de vitroplantas de yuca variedad brasilera (cultivada en el departamento del Meta, Colombia) y disminuir las pérdidas inherentes a su manejo, así como reducir los costos de la etapa *ex vitro* con la finalidad de hacer más rentable la producción.

## Materiales y métodos

### Sitio de estudio

En el invernadero del Laboratorio de Biotecnología Vegetal y Mejoramiento Genética, adscrito a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad de los Llanos, sede Barcelona vía Puerto López (departamento del Meta, Colombia), a una altitud de 422 msnm y temperatura ambiental promedio de 25°C.

### Material vegetal

Se seleccionaron vitroplantas de yuca (*Manihot esculenta*) variedad brasilera de octavo subcultivo y con ocho semanas de desarrollo que crecían en frascos de vidrio que contenían 20 ml de medio de cultivo preparado con sales inorgánicas de Murashige & Skoog (1962), 0,5 mg $L^{-1}$ de tiamina-HCL, 100 mg $L^{-1}$, 100 mg $L^{-1}$ de myo-inositol, 30 g $L^{-1}$ de sacarosa, 2,3 g $L^{-1}$ de agar (Phytagel) y pH ajustado de 5.8. Las condiciones de laboratorio fueron: temperatura de 30°C, intensidad lumínica de 3000 Lux y con un fotoperíodo de 16 horas luz y 8 de noche.

### Preparación de sustratos orgánicos

Siguiendo directrices de Escobar (2013) para la obtención de humus sólido, se cultivaron lombrices rojas californianas (*Eisenia fétida* Savigny) en canastas, en la granja de la Universidad de los Llanos (Meta, Colombia) que se alimentaron con estiércol (bovino) fresco. A los dos meses y medio se tomó el humus sólido y se realizaron dos tipos de sustratos: MB 1 humus sólido + cascarilla de arroz seca (1:1) y MB2 humus sólido + viruta (1:1). Además, se preparó un tercer sustrato MB: Bocashi bajo el mismo tiempo mediante lo estipulado por la FAO (2011). Después los sustratos fueron llevados a la autoclave a 121°C durante 20 minutos para esterilización.

### Diseño experimental

Las plantas fueron colocadas en macetas de 8 cm de diámetro, las cuales fueron llenadas con cada uno de los sustratos: MB1 y MB2, y MB que corresponde al control negativo, pues es un sustrato que netamente está constituido por compuestos orgánicos y sin un componente extra que le permita tener porosidad, por lo que las plantas no podrán endurecerse y aclimatarse. La unidad experimental fue de 10 vitroplantas y se realizaron tres réplicas para cada uno, para un total de 40 plantas por tratamiento. La aclimatación se hizo manteniendo cámara humedad y retirada progresivamente de acuerdo con el desarrollo vegetativo. Las variables a tener en cuenta para el endurecimiento fue % sobrevivencia (adaptación), número de nudos, hojas presentes y altura al final de la etapa de endurecimiento.

**Análisis**

Los datos de sobrevivencia se tuvieron en cuenta según si la planta quedaba viva (si) o muerta (no) al final del proceso. Se aplicaron pruebas de estadística descriptiva con el programa SPSS versión 20, generando gráficos de medias para número de nudos, hojas presentes y altura al final de la etapa de endurecimiento.

**Resultados y discusión**

El sustrato MB1 permitió la sobrevivencia y adaptación del 80% de las vitroplantas, en comparación con el sustrato MB2 de un 32,5% y el sustrato MB sin ninguna (Figura 1). Generalmente, las pérdidas de material vegetal en cultivo de tejidos, van desde la etapa *in vitro* con un medio artificial y condiciones de laboratorio controladas, a la etapa *ex vitro* donde se transfiere a un suelo y bajo condiciones que no se pueden controlar totalmente, por lo que no regular los factores edafoclimáticos, puede generar hasta un 90% de pérdidas del material (Segovia *et al*., 2002).

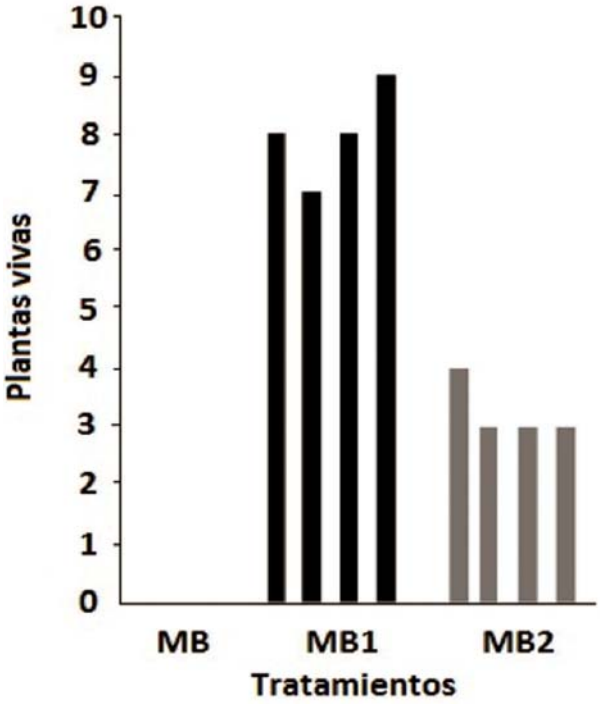


**Figura 1.** Sobrevivencia de plantas de yuca (*M. esculenta*) de acuerdo a los tratamientos MB, MB1 y MB2 con sus respectivas replicas.

Además, factores como la luz y la temperatura que se manejen a nivel *in vitro* pueden incidir en la aclimatación, donde la intensidad lumínica es uno de los principales factores que influye (Jorge *et al*., 2001). Sin embargo, en este caso esos factores no presentaron diferencia en la sobrevivencia, pues en algunos grupos del tratamiento MB1 se alcanzó el 90% de plantas vivas. Adicionalmente, conforme a lo planteado por Bonilla, Sánchez & Pachón (2015), se hace un proceso de pre-aclimatación entre la fase *in vitro* y *ex vitro*, para que las plantas no sufran tanto los cambios climáticos.

Las plantas tratadas con el sustrato MB1 presentaron mayor desarrollo que llega hasta 12 nudos y 8 hojas, a diferencia del MB2 que presenta 10 nudos y 6 hojas (Figura 2). Durante la fase de laboratorio e invernadero, los factores que están relacionados en el desarrollo de nudos y hojas son la intensidad lumínica e incidiendo más la temperatura (Jorge *et al*., 2001). De tal manera, en las plantas de yuca tanto en la fase *in vitro* como *ex vitro*, se manejó la misma temperatura, y en cuanto a la luminosidad, se realizó una transición idónea controlada desde la cámara húmeda. Aun así, esta relación es muy importante y debe tenerse en cuenta, ya que cuando se manejan efectos de salinidad en yuca en la etapa *in vitro* se ven reflejados en la etapa *ex vitro* (Carretero, Cantos, García & Troncoso, 2007).

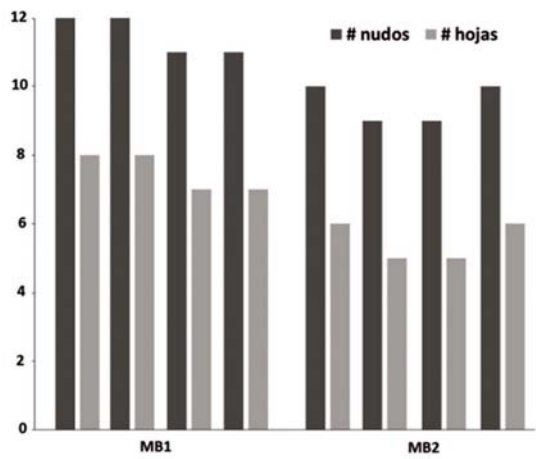


**Figura 2.** Número de nudos y hojas de yuca (*M. esculenta)* de acuerdo a los tratamientos MB1 y MB2 con sus respectivas replicas.

En promedio las plantas que crecen en el sustrato MB1 pueden presentar una altura de 30 cm hasta los 60 días, mientras que con el MB2 es de 27,5 cm (Figura 3). Por su parte, el sustrato MB1 presenta al igual que el MB2, una fuente alta de nutrientes, sin embargo, la cascarilla le permite aumentar la porosidad y una mejor disponibilidad de oxígeno y agua necesaria para el desarrollo y endurecimiento (Segovia *et al.*, 2002). En consecuencia, el compuesto MB1 va a permitir un mejor desarrollo radicular, caulinar y foliar que va a facilitar la adaptación *ex vitro* de las plantas para una posterior etapa de campo.

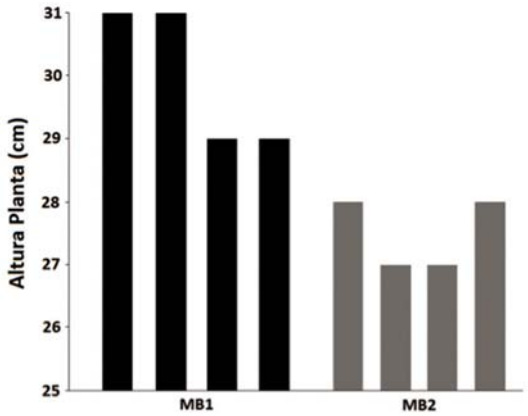


**Figura 3.** Altura de las plantas de yuca (*M. esculenta) versus* de acuerdo a los tratamientos MB1 y MB2 con sus respectivas replicas.

El tiempo de endurecimiento fue hasta 60 días, donde las plantas presentaban un idóneo enraizamiento y vigor para salir a fase de campo. En metodología utilizada por Segovia *et al*. (2002) se define un tiempo de aclimatación de 70 a 90 días, sin embargo, este tiempo incluye que después del endurecimiento, se deja una o dos semanas más por fuera del invernadero, a una exposición completa del sol, por lo que queda disponible para el transplante en campo.

## Conclusiones

Los sustratos orgánicos en conjunto con componentes que permiten la alta porosidad del suelo son una alternativa económica y útil para el manejo de la etapa *ex vitro* por su fuente nutricional, buen drenaje y adecuada humedad, lo que facilita una mejor aclimatación a las vitroplantas.

El sustrato MB1 es el más idóneo, a nivel nutricional y estructural para el enraizamiento y endurecimiento de plantas de yuca, por lo que se puede considerar como una opción en los procesos de cultivos de tejidos que trabajen con *Manihot esculenta*.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos por el apoyo y financiación por parte de la División de Proyección Social de la Universidad de los Llanos asociada al programa PROGRESO de Acción Social de la República, junto con el Sena sede de Los Naranjos y CORYUMET, para la ejecución del proyecto “Producción de material vegetal de yuca (M. esculenta Krantz) libre de patógenos a través de la propagación in vitro”. Adicionalmente a los investigadores María Isabel Moreno, Paul Chavarriaga, Óscar Hernández, Viviana Vargas, Tatiana Zabala, Angela Tovar, Hernán Cortés y Carlos Ariel

## Literatura citada

1. Bonilla, M, Mancipe, C. & Aguirre, C. (2015). Conservación *in vitro*: una perspectiva para el manejo de los Recursos Fitogenéticos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental.* 6 (1): 67-81.
2. Bonilla, M, Pachón, J. & Moreno, M. (2015). Propagación *in vitro* de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad brasilera: una alternativa de producción de semilla libre de patógenos para el Meta, Colombia. *Cuadernos de Recursos Fitogenéticos Neotropicales*. 5-6: 48-60.
3. Bonilla, M, Sánchez, S. & Pachón, J. (2015). Etapa *ex vitro* de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad brasilera. *Cuadernos de Recursos Fitogenéticos Neotropicales*. 5-6: 61-67.
4. Bonilla M, & Hernández, O. (2012). Propagación *in vitro* de ñame (*Dioscorea* spp.): una perspectiva en la producción masiva de plántulas y conservación de germoplasma. *Agronomía*. 20 (2): 65-76.
5. Carretero, C, Cantos, M, García, J. & Troncoso, A. (2007). *In vitro–ex vitro* salt (NaCl) tolerance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plants. *In Vitro Cellular &*

*Developmental Biology - Plant*. 43:364–369.

6. Cortés, S, Chavarriaga, P. & López, C. (2010). Biocombustibles y biotecnología: la yuca (*Manihot esculenta*) como modelo de investigación. *Acta Biológica Colombiana*. 15 (1): 3-24.
7. Escobar, C. (2013). Usos potenciales del humus (abono orgánico lixiviado y solido) en la empresa fertilombriz. (Trabajo de práctica empresarial). Facultad de ciencias administrativas y agropecuarias, Corporación Universitaria la Sallista. 37pp. Recuperado de: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/936/1/USOS_POTENCIALES_HUMUS_ABONO_ORGANICO_LIXIVIADO_SOLIDO_EMPRESA_FERTILOMBRIZ.pdf
8. FAO. (2011). Elaboración y uso de Bocashi. Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador. 11 pp. Recuperado de: http://www.fao.org/3/a-at788s.pdf
9. Jorge, M, Robertson, A, Mashingaidze, A. & Keogh, E. (2001). Distinguishing the effects of light and temperature variations on the growth, development, multiplication potential and *ex vitro* survival rates of *in vitro* cassava. *Annual of Applied Biology*. 138: 363-370.
10. Laynez, J. & Sánchez, M. (2006). Desinfección de ápices de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. ´Querepa rosada´ con hipoclorito de sodio. *Revista UDO Agrícola*. 6(1):60-66.
11. Marín, A, Albarrán, J, Fuenmayor, F. & Perdomo, D. (2009). Evaluación del efecto de los reguladores de crecimiento en la regeneración *in vitro* de cinco cultivares élites de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Interciencia*. 33 (5): 365-371.
12. Murashige, T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiology Plant*. 15:473- 497.
13. Preston, T, Rodríguez, L, Nguyen, V. & Le, C. (1998). El forraje de la yuca (*Manihot esculenta* Crrantz) como fuente de proteína para la producción animal en sistemas agroforestales. In: Conferencia Electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal em Latinoamérica. Recuperado de: http:// “FAO-Agroforestia-Conferencia\ Agroforl.htm”
14. Segovia, R, Bedoya, A, Triviño, W, Ceballos, H, Gálvez, G. & Ospina, B. (2002). Metodología para el endurecimiento masivo de vitroplantas de yuca. In: Ospina, B, Ceballos, H. 2002. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT. 586 pp.
15. Suárez, L. & Mederos, V. (2011). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), Tendencias actuales. *Cultivos tropicales*. 32 (3): 27-35.
16. Souza, E, Guim, A, Batista, A, Zumba, E, Santos, E, Souza, K, Santos, G, Lins, N. & Matos, D. (2006). Qualidade de silagens de maniçoba (*Manihot epruinosa*) emurchecida. *Archivos de Zootecnia*. 55 (212): 351-360.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 11 de febrero de 2015
Aceptado: 23 de marzo de 2015

# Contenido y distribución de macronutrientes en caléndula *(Caléndula officinalis* L.) en el Valle del Cauca, Colombia

# Content and distribution of macronutrients in calendula (*Calendula officinalis* l.) in the Valle del Cauca, Colombia

## *Conteúdo e distribuição de macronutrientes na Calendula (Calendula officinalis L.), no Valle del Cauca, Colômbia*

**Yuly Samanta García Vivas[1], Juan Carlos Menjivar Flores[2], Manuel Salvador Sánchez Orozco[3] & Carmen Rosa Bonilla Correa[4]**

[1]Ingeneira Agrónoma, Magister en Ciencias Agrarias. [2]Ingeniero Agrónomo, Magister en Suelos y Aguas, Doctor en Ciencia del Suelo. [3]Ingeniero Agrónomo, Magister en Sistemas de Semillas. [4]Ingeniera Agrónoma, Magister en Suelos y Aguas.

[1]Departamento de Suelos. Centro universitario del Litoral Atlántico. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. [2, 3, 4]Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira

[1]ysgarciav@unal.edu.co, [2]jcmenjivar@unal.edu.co, [3]mssanchezo@unal.edu.co, [4]crbonillac@unal.edu.co

### Resumen

Con el objetivo de evaluar el contenido y distribución de macronutrientes (N, P, K) en tallos, hojas, flores y semillas de caléndula (*Calendula officinalis* L.) en diferentes épocas de desarrollo se realizó el presente estudio en el municipio de Yumbo, departamento del Valle del Cauca, Colombia. Se estableció en un diseño completamente al azar un experimento con cinco tratamientos (muestreos a los 2, 3, 5, 6 y 7 meses después del trasplante (mdt)) con tres repeticiones, se analizó en los órganos vegetales el contenido de N, P y K en cada etapa de crecimiento. El análisis de varianza mostró diferencias significativas en los contenidos de N, P y K entre épocas y entre órganos vegetales. El nutriente con mayor demanda en todo el ciclo fue el K (197,40 g $kg^{-1}$) seguido del N (130,53 g $kg^{-1}$) y P (21,19 g $kg^{-1}$ ); los mayores contenidos de N y P se localizaron en las flores y en los tallos el K. La mayor demanda P y K se registró en el segundo y tercer mdt y en el tercer y séptimo mdt se registraron las mayores demandas de N.

**Palabras clave:** Asterácea, capítulo floral, etapa fenológica, nutrición mineral.

### Abstract

In order to evaluate the content and distribution of macronutrients (N, P, K) in stems, leaves, flower heads and seeds of calendula (*Calendula officinalis* L.) in different periods of development a study in the municipality of Yumbo, department of Valle del Cauca, Colombia was conducted. An experiment with five treatments (sampling at 2, 3, 5, 6 and 7 months after transplantation) with three replications in a completely randomized design was established; the content of N, P and K was analyzed

in each plant organ and stage of growth. Analysis of variance showed significant differences in contents of N, P and K among periods and plant organs. The nutrient with highest demand throughout the cycle was K (197,40 g $kg^{-1}$) followed by N (130,53 g $kg^{-1}$) and P (21,19 g $kg^{-1}$); the highest contents of N and P were located on the flower heads ; whereas for K, in the stems. The highest demand of P and K was observed in the second and third sampling. During the third and seventh sampling the highest demands for N were observed.

**Key-words**: Asteracea, flower head, mineral nutrition, phenological stage

## Resumo

Visando avaliar o conteúdo de distribuição elementos maiores (N, P, K) em caules, folhas, flores e sementes de calêndula (Calendula officinalis L.) em épocas diferentes de desenvolvimento, foi realizado o presente estudo no município de Yumbo, estado do Vale do Cauca, Colômbia. Foi estabelecido em um delineamento inteiramente casualizado um experimento com cinco tratamentos (amostragem a 2, 3, 5, 6 y 7 meses despois do trasplante (mdt)) com três repetições, analisando nos órgãos vegetais o conteúdo de N, P y K em cada faz de crescimento. A análise de variância mostrou diferencias significativas nos conteúdos de N, P y K entre épocas e órgãos vegetais. O nutrimento com maior demanda em todo o ciclo foi K (197,40 g kg-1) seguido de N (130,53 g kg-1) e P (21,19 g kg-1), sendo que os maiores conteúdos de N e P encontraram-se nas flores, enquanto que nos caules o maior conteúdo foi de K. A maior demanda de P e K se registrou no segundo e tercer mdt enquanto que no terceiro e septimo mdt se registraram as maiores demandas de N.

**Palavras-chave:** Asteraceae, capítulo floral, estádio fenológico, nutrição mineral.

## Introducción

La importancia de las plantas medicinales es reconocida y suficientemente documentada desde épocas ancestrales; en la actualidad, el Estado colombiano basado en estudios de prospección y de mercado realizados por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Programa Transformación Productiva, ha confirmado que las tendencias del mercado mundial en el sector de cosméticos, aseo y limpieza, favorecen las ventajas comparativas del país, ya que este sector está demandando ingredientes naturales (Mincomex, 2009).

A pesar de que la caléndula es una especie introducida, se ha adaptado muy bien a las condiciones edafoclimáticas de varios países, incluyendo a Colombia, con buenos rendimientos y mercados (Conpes 3514, 2008). Esta especie es la más utilizada entre las 156 especies de plantas medicinales, aromáticas y condimentarías que se comercializan en Colombia (IGAC, 2006) y la segunda en el número de autorizaciones de comercialización (Guevara, Luengas & Garavito, 2010).

La caléndula (*C. officinalis* L.) pertenece a la familia Asteraceae (Pérez, 1956; García, 1975; Sánchez, 1980); la planta completa y sus flores poseen múltiples usos tradicionales y actividades farmacológicas, como: antiflogísticas, antisépticas, antiespasmódicas, astringentes, diaforética, antibacteriana, cicatrizante, antiinflamatoria, emenagoga e inmuno-moduladora. Además, se emplea en casos de acné, contusiones, golpes, torceduras, eczemas, quemaduras, picaduras de insectos, irritaciones cutáneas, amenorrea y dismenorrea (Cáceres, 1996; Acosta, Rodríguez & Sánchez, 2001).

Los sistemas de producción agrícola requieren el conocimiento de la importancia que los nutrientes tienen para las plantas, ya que permiten la realización de procesos vitales relacionados

con la absorción, transporte y utilización de asimilados, siendo estos elementos de naturaleza inorgánica o mineral (Castro & Gómez, 2010). Alarcón (2000) afirma que la fertilidad del suelo se mantiene cuando las *pérdidas* son compensadas por las aportaciones, así, el manejo debe promover un balance armónico entre las pérdidas y aportes de nutrientes.

Los estudios sobre la nutrición mineral de plantas medicinales son relativamente escasos en Brasil, Fernandes *et al.* (2013) evaluaron el efecto de la aplicación de 100 kg de N y 50 de P en forma de úrea, bovinaza y mulch (*Paspalum notatum) sin encontrar variaciones estadísticas* ($p$>0.05) *en los análisis cromatográficos de los metabolitos secundarios identificados en las diferentes épocas de cosecha y en los tratamientos de fertilización evaluados en caléndula, resultados similares a los reportados por* Borella *et al.* (2011)*. Sin embargo, estos resultados fueron contrastantes con los obtenidos por* Araujo *et al.* (2009) y Paim *et al.* (2010) quienes reportaron que la fertilización nitrogenada incrementa el contenido total de flavonoides, y Król (2011) reportó el incremento del número de inflorescencias y de aceites esenciales en el cultivar Orange King de caléndula. Moreira *et al* (2005) lograron la máxima producción de materia fresca de caléndula (20,52 g planta$^{-1}$) con la aplicación de 210,62 g planta$^{-1}$ de N en condiciones de invernadero.

Gonçalves *et al* (2012) evaluaron la disponibilidad de nutrientes y metales pesados tóxicos presentes en caléndula (*C. officinalis* L.) en un experimento con aplicación de fertilización (orgánica e inorgánica) en tres niveles y dos texturas de suelo (arenoso y arcilloso): los resultados mostraron que el suelo arcilloso promovió la disponibilidad de N, P, K, Mg, Cu, Zn y Fe, por otro parte, el suelo arenoso favoreció la disponibilidad de Ca, Mn, Pb y Cr, siendo evidente que el tejido de las hojas de plantas fertilizadas inorgánicamente presentó mayores concentraciones de K y Mn.

En Colombia, aunque la caléndula es un cultivo importante, los estudios en nutrición vegetal son escasos y los productores desconocen el momento en el que se requiere mayor concentración de nutrientes en la planta y que pueda ser beneficioso para los consumidores; además, se requiere claridad sobre programas de fertilización basados en la absorción diferencial de nutrientes en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo; por estas consideraciones se realizó esta investigación con el objetivo de evaluar el contenido y distribución de macronutrientes (N, P, K) en los órganos (tallos, hojas, flores y semillas) y en las diferentes etapas de desarrollo de la planta.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó en una pequeña explotación de la vereda la Olga, municipio de Yumbo, departamento de Valle del Cauca, Colombia, ubicado a 3° 35′ 0″ N, 76° 28′ 0″ W, altitud entre 1650 y 2000 msnm, humedad relativa de 50% en época seca y 70% en época de lluvia.

El suelo experimental donde se estableció el cultivo de caléndula (*C. officinalis* L.) fue caracterizado (física y química), tomando muestras de 0 a 20 cm de profundidad, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de Física de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, utilizando para determinar: textura (método de la Pipeta de Robinson´s), densidad aparente (método del cilindro biselado, Jaramillo, 2002), densidad real (método del picnómetro descrito por Montenegro & Malagón (1990) y porosidad.

Así mismo, en el laboratorio de servicios analíticos del Centro Internacional de Agricultura Trópical (CIAT) se determinó: pH (1:2 en agua), carbono orgánico (CO g kg$^{-1}$), fósforo (P-Bray II) (mg kg$^{-1}$), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), aluminio(Al) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) en cmol kg$^{-1}$ ; boro (B), azufre (S), cobre(Cu), hierro(Fe), manganeso(Mn) y zinc(Zn) en mg kg$^{-1}$,

de acuerdo a metodologías estandarizadas (CIAT, 2006). Los análisis químicos del suelo se interpretaron con las escalas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2006) y Castro (2004).

El cultivo se manejó de acuerdo a la tecnología local de producción comercial y se definió como unidad de muestreo una parcela experimental de 1000 $m^2$. Se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones. Se evaluó el contenido de macronutrientes en la planta completa y en cada órgano aéreo de la planta (hojas, tallos, flores y semillas), en cinco etapas fenológicas (2, 3, 5, 6 y 7 meses de edad después del trasplante (mdt)). En cada etapa se cosecharon 10 plantas al azar; las muestras de hojas, tallos, flores y semillas se lavaron con agua destilada, se secaron a 60°C hasta peso constante, se molieron utilizando un molino de cuchillas de tungsteno (IKA LABORTECHNIK M20), luego se tamizaron a 2 mm, se marcaron y empacaron para trasladar al laboratorio.

Los análisis de contenido y distribución de N, P, y K en plantas completas y en hojas, tallos, flores y semillas, se realizaron en el laboratorio de servicios analíticos del CIAT por extracción mediante digestión ácida y determinación con auto analizador (espectrofotómetro automático).

Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.13, con el cual se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de promedios Duncan.

## Resultados y discusión

En general las condiciones físicas y químicas del suelo permiten un desarrollo óptimo para el cultivo de caléndula; este suelo presentó textura franco limoso, lo que permite una adecuada laborabilidad (Tabla 1) siempre y cuando la humedad gravimétrica no supere el 50% (Amézquita & Londoño, 1997); además, presenta baja densidad aparente la cual favorece el buen crecimiento de raíces, drenaje y aireación (Jaramillo, 2002); alta porosidad (>50%), adecuada para retener, transmitir agua y permitir el movimiento del aire.

***Tabla 1.*** *Caracterización física del suelo de la zona de estudio (vereda la Olga, Yumbo-Valle del Cauca).*

| Profundidad | Arena | Limo | Arcilla | Clase Textural | Densidad aparente | Densidad real | Porosidad Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm | % | % | % | | kg $m^{-3}$ | | % |
| 0 – 20 | 25,68 | 53,76 | 20,56 | Franco limoso | 0,83 kg $m^{-3}$ | 2,54 kg $m^{-3}$ | 67,32 |

Fuente: Laboratorio de Física de Suelos UNAL Palmira.

El suelo presentó pH casi neutro, alto contenido de carbono orgánico, bajos niveles de Fe y Cu, altos contenidos en S, B, P, Mn, Ca, Mg, Na y Zn, alta CIC, predominando la saturación por Ca y K (Tabla 2). Estos resultados indican que es un suelo con capacidad de brindar suficientes nutrientes durante las diferentes etapas de desarrollo de la caléndula.

***Tabla 2.*** *Características químicas del suelo de la zona de estudio (vereda la Olga, Yumbo, Valle del Cauca)*

| Determinaciones | Unidades | Valor | Nivel |
|---|---|---|---|
| pH | | 6,92 | Acidez muy débil |
| CO | g kg-1 | 58,24 | Alto |
| K | cmol(c) kg-1 | 7,9 | Alto |
| Ca | | 201,7 | Alto |
| Mg | | 33,5 | Alto |
| Na | | 2,2 | Alto |
| CIC | | 298 | Alto |
| P (Bray II) | mg kg-1 | 275,4 | Alto |
| S | | 60,03 | Alto |
| B | | 1,37 | Alto |
| Fe | | 1,21 | Bajo |
| Mn | | 78,34 | Alto |
| Cu | | 0,35 | Bajo |
| Zn | | 17,36 | Alto |

Fuente: Laboratorio de química de Suelos, CIAT.

**Dinámica de macronutrientes en diferentes épocas de muestreo**

Los contenidos de N presentaron diferencias altamente significativas en las épocas evaluadas, siendo los contenidos en los meses 2 y 5 similares estadísticamente, lo mismo que los meses 3 y 7 (Figura 1). Los mayores contenidos se registraron en el séptimo mes (31,10 g $kg^{-1}$), seguido del tercero (28,82 g $kg^{-1}$). En términos generales se observa una demanda de este nutriente en todas las épocas evaluadas, siendo necesaria su disponibilidad en todo el ciclo como lo expresa Rao (2009).

En cuanto al P el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p<0.01$) entre épocas evaluadas, siendo los meses dos y tres diferentes estadísticamente en relación con los demás (Figura 1). En las primeras etapas de desarrollo su disponibilidad es importante y los mayores contenidos se registran en el segundo y tercer mes (5,37 y 4,87 g $kg^{-1}$), respectivamente, disminuyendo con la evolución del cultivo. Rao (2009) expresa que el P se requiere en las primeras etapas de crecimiento de la planta, ya que participa en procesos energéticos como la formación de ATP y ADP, entre otros.

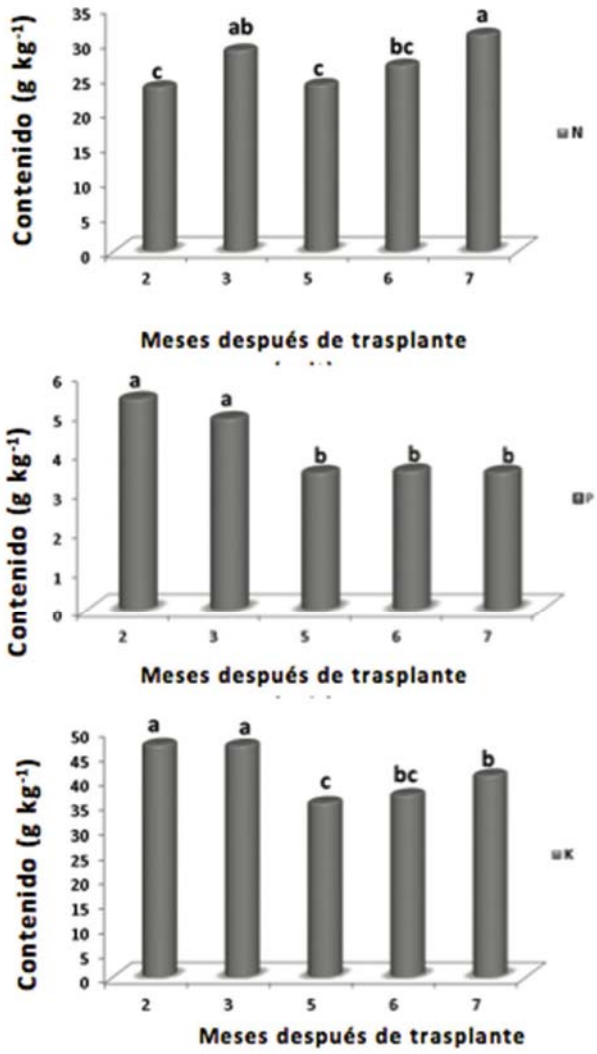


**Figura 1.** Contenidos de N, P, K en plantas de caléndula (*C. officinalis* L.*)* en diferentes épocas de desarrollo. Promedios con igual letra no difieren significativamente (p<0.05) según la prueba de Duncan

En cuanto a K, se presentaron diferencias altamente significativas (p<0.01) entre épocas, siendo los contenidos en los meses 2 y 3, los más elevados (47,07 y 46,93 g $kg^{-1}$), similares estadísticamente y diferentes a los demás meses (Figura 1). El potasio mantiene una dinámica de alta demanda como lo menciona Rao (2009), debido a su participación en la síntesis y transporte de fotosintatos a los órganos de reserva, como también, en la producción de carbohidratos, proteínas, aceites, etc. (Tisdale, Haylin & Nelson, 2005), así, se considera este elemento de vital importancia para la planta, ya que participa en casi todos sus procesos fisiológicos (Valencia, 1999), incluyendo procesos de osmoregulación como mecanismo adaptativo a condiciones de estrés hídrico (Marschner, 2003).

Cuando se evalúa el consumo de nutrientes en las diferentes épocas, se observa que el K fue el de mayor demanda (197, 40 g $kg^{-1}$), seguido del N (130,53 g $kg^{-1}$) y P (21,19 g kg-$^{1}$), respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Teixeira, Polato & Tavares (2000), concluyendo que los macronutrientes N y K fueron los más exigidos por la caléndula bajo condiciones controladas; el N fue el segundo macronutriente más acumulado, coincidiendo con lo reportado por Filgueira (2003) quien afirma que éste es normalmente el segundo nutriente más requerido por plantaciones olerícolas después del K. Por otro lado, en experimentos realizados por Król (2011), demostró que la caléndula exige cantidades considerables de N, sin embargo, a partir de 80 kg N $ha^{-1}$ no se observó mayor productividad.

La absorción del P es restringida por factores, en este caso de elevadas concentraciones de Ca y Mg, como lo muestra el análisis de suelos realizado, es posible que este nutriente forme compuestos insolubles con los cationes mencionados y por tanto no esté disponible para la planta.

**Dinámica de macronutrientes en órganos de la planta para diferentes etapas de desarrollo**

**Nitrógeno.** Se detectaron diferencias altamente significativas (p<0.01) en el contenido de macronutrientes en los órganos evaluados (Figura 2). Los mayores contenidos se localizaron en las flores (32,33 g $kg^{-1}$) y hojas (29,0 g $kg^{-1}$) y, los más bajos en los tallos (19,09 g $kg^{-1}$) y las semillas (21,87 g $kg^{-1}$). Durante las épocas se aprecia un comportamiento fluctuante en flores y tallos, mientras que en las hojas tiende a elevar su contenido con el transcurso del tiempo, a diferencia de las semillas en las cuales decrece.

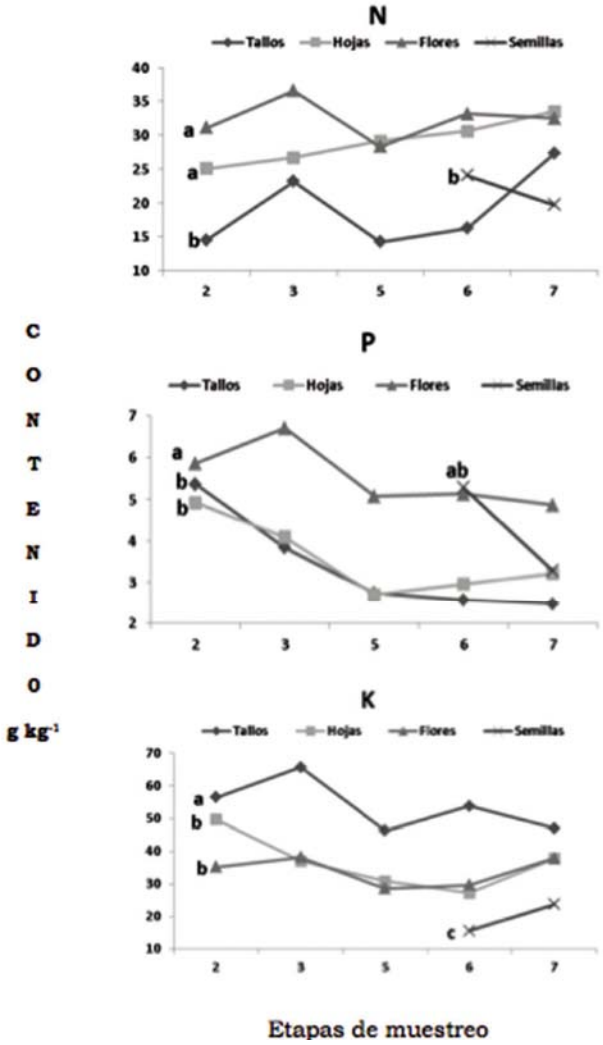


**Figura 2.** Contenido de macronutrientes en tallos, hojas, flores y semillas de la planta de caléndula en diferentes etapas fenológicas. Promedios con igual letra no difieren significativamente (p>0.05) según la Prueba de Duncan.

**Fósforo.** El Análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p<0.05$) para el contenido de P entre los diferentes órganos, como lo sugieren Puentes et al (2014) afirmando que el contenido de fósforo es diferente en hojas y semillas. Así, el contenido en las flores y semillas no difirieron estadísticamente ($p>0.05$) al igual que en el contenido de fósforo en tallos y hojas (Figura 2). La mayor concentración de P se registró en flores (5,52 g $kg^{-1}$) y semillas (4,27 g $kg^{-1}$), coincidiendo con los resultados obtenidos por Moreira *et al.* (2005) y Puentes, Menjivar, Gómez & Aranzazu (2014). La concentración menor se presentó en tallos y hojas (3,39 y 3,58 g $kg^{-1}$, respectivamente).

Al inicio del ciclo del cultivo, el fósforo fue el nutrimento requerido en mayores cantidades, cuyas funciones energéticas son necesarias en muchos procesos fisiológicos y metabólicos, participando entre otros en la formación de raíces (Marschner, 2003). Con el trascurrir del tiempo su demanda disminuye, localizándose principalmente en flores y semillas órganos responsables de la supervivencia de la planta (Rao, 2009). En caléndula se encontraron contenidos de fósforo en rangos de 2 a 6 g $kg^{-1}$, en general con los valores mayores en las primeras etapas del cultivo (segundo y tercer mes). Posiblemente estos contenidos están relacionados con el fenómeno de dilución de nutrientes que se presenta cuando la planta adquiere mucha más biomasa en el proceso normal de crecimiento, ya que los contenidos en los meses próximos a la senescencia de la planta son menores (Malavolta, Vitti & Oliveira, 1989).

**Potasio.** Se detectaron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) entre los órganos para el contenido de este macronutriente. El contenido en el tallo (53,82 g $kg^{-1}$) fue diferente estadísticamente de los demás, siendo el contenido en las hojas y flores similares entre sí (Figura 2). El K fue el elemento de mayor contenido en todo el ciclo y su importancia radica en ser cofactor de más de 40 enzimas y regulador de turgencia celular (Mengel & Kirkby, 2000). En maíz y otros cereales en los tejidos del tallo se presentan los contenidos mayores y en su ausencia la planta se cae con facilidad y susceptible al ataque de plagas en las raíces (Rao, 2009).

La absorción y extracción de nutrientes de un cultivo permite conocer la cantidad requerida para producir un rendimiento dado en un periodo de tiempo definido (Bertsch, 2003); en ese orden de ideas los resultados de esta investigación permiten que los productores puedan elaborar un plan de fertilización basado en la extracción y absorción de nutrientes y satisfacer las necesidades del cultivo.

## Conclusiones

Las épocas de aplicación de fertilizantes deben orientarse teniendo en cuenta el contenido de nutrientes del suelo y la demanda de nutrientes por la planta en cada etapa de desarrollo; en este sentido, para el cultivo de caléndula (*C. officinalis* L.) se debe dar importancia a la fertilización con NPK en los tres primeros meses del cultivo.

El contenido de NPK en los diferentes órganos de la planta evaluados, evidencia una concentración diferencial de nutrientes, así, el cultivo presenta mayor concentración de N y P en flores, y de K en los tallos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, a la Dirección de Investigación (DIPAL), por la financiación parcial de la investigación, al grupo de investigación "Recursos genéticos de plantas medicinales, aromáticas y condimentarías" y al grupo "Uso y manejo de suelos y aguas con énfasis en degradación de suelos". Al Dr. Diosdado Baena G. por su asesoría estadística, a los agricultores del corregimiento Los cerros de La Olga por su constante colaboración, y a los funcionarios del Laboratorio de Servicios Analíticos del CIAT.

## Literatura citada

1. Acosta de la L., L., Rodríguez, F.C., & Sánchez G. E. (2001). Instructivo técnico de *Calendula officinalis*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales 6*(1): 23-27. La Habana, Cuba: Ciencia médicas.
2. Alarcón, A. (2000). Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Murcia, España: Novedades Agrícolas.
3. Amézquita, E. & Londoño, H. (1997). La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en su uso y manejo. *Revista Suelos Ecuatoriales* Vol.27:163-168. Medellín, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
4. Araujo, C.B.O., Santos, A.M., Fernandes, L.A., Martins, E.R., Sampaio, R.A., Costa, C.A. & Leite, G.L.D. (2009). Uso da adubação orgãnica e cobertura morta na cultura da Calêndula (*Calendula officinalis* L.). *Rev. Bras. Plantas Med.* (11): 117-123. Paulínia, Brasil: Sociedade Brasileira.
5. Bertsch, F. (2003). Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
6. Borella, J.C., Ribeiro, N.S., Freato, A.M.R., Mazzo, K.F. & Barbosa. D.M. D.M. (2011). Influencia da adubação e da cobertura morta na produtividade e no teor de flavonoides de *Calendula officinalis* L. (Asteraceae). *Rev. Bras. Plantas Med.* (13): 235-239. Paulínia, Brasil: Sociedade Brasileira.
7. Cáceres, A. (1996). Plantas de uso medicinal en Guatemala. Univesidad San Carlos de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Editorial Universitaria.
8. Castro, H. (2004). Propuesta guía de indicadores analíticos para calificar suelos estables y en proceso de degradación desde el punto de vista físico. En el Centro Internacional de Agricultura Tropical, Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo, llevado a cabo en Palmira, Colombia.
9. Castro, H.E. & Gómez, M.I. (2010). Fertilidad del Suelo y Fertilizantes. En Burbano H.F. Silva (ed), Ciencia del suelo, Principios básicos (pp.105-130) Bogotá, D.C., Colombia: Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo.
10. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (2006). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Cali, Colombia: CIAT.
11. Conpes 3514. (2008). Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia: Conpes.
12. Fernandes, E. F. A., Meloni, F., Borella, J. C. & Lopes, N. P. (2013). Effect of fertilization and harvest period on polar metabolites of *Calendula officcinalis*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. *23*(5):731-735. Paraná, Brasil: Brazilian Society of Pharmacognosy.
13. Filgueira, F.A.R. (2003). Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2ed. Viçosa, Brasil: UFV.
14. García, B. (1975). Flora Medicinal de Colombia. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
15. Gonçalves, A. C., Jacobus de M, A., Lindino, C. A., Nacke, H. & Antonio de C. E. (2012). Availability of nutrients and toxic heavy metals in marigold plants. *Acta Scientiarum Technology* 34 (4): 451-456. Maringá-Eduem, Brasil: Universidade Estadual de Maringá-Eduem.
16. Guevara, H. A., Luengas, P. E. & Garavito, G. (2010). Revisión documental de los productos naturales legalmente autorizados para su mercadeo en Colombia. *Colombia Médica* 41(2): 129-140. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
17. IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2006). Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. Subdirección Agrológica, 4ª ed. Bogotá D.C, Colombia: IGAC.
18. Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellin, Colombia: Universidad Nacional de Colombia
19. Król, B. (2011). Yield and The Chemical Composition of

Flower Heads of Pot Marigold *Calendula officinalis* L. cv. Orange King Depending on Nitrogen Fertilization. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*. 10(2):235-243. Lublin, Polonia:University of Life Science in Lublin

**20.** Malavolta, E., Vitti, G.C. & Oliveira, A.S. (1989). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Brasil: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.

**21.** Marschner, H. (2003). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition..London, Reino Unido: Academic Press.

**22.** Mengel, K. & Kirkby, E. (2000). Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4a edición de Melgar, R. J. y Ruíz, M. (1987). Basel, Switzerland: International Potash Institute.

**23.** Mincomex (Ministerio de Comercio Exterior) (2009). "Sector de cosméticos y productos de aseo - Desarrollando sectores de talla mundial en Colombia." Bogota D.C, Colombia: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

**24.** Montenegro, H. & Malagón, C. (1990). Propiedades físicas de los suelos. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Bogotá D.C. Colombia: Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".

**25.** Moreira, P. A., Marchetti, M. E., Vieira, M. C., Novelino, J. O., Gonçalves, M. C. & Robaina, A. (2005). Desenvolvimento vegetativo e teor foliar de macronutrientes da calêndula (Caléndula *officinalis* L.) adubada com nitrogênio e fósforo. *Rev. Bras. Pl. Med. Botucatu* 8 (1):18-23. Paulinia, Brasil: Unicamp

**26.** Paim, L.F.M.A., Fontana, M., Winckler, M., Grando, A.P., Muneron, T.L. & Roman Jr., W.A. (2010). Assessment of plant development, morphology and flavonoid content in different cultivation treatments of *Calendula officinalis* L. Asteraceae. *Rev. Bras. Farmacogn*. 20: 974-980. Paraná, Brasil: Universidade federal do Paraná

**27.** Pérez, A.E. (1956). Plantas útiles de Colombia. 3ra Edition. Madrid, España: Rivadeneyra

**28.** Puentes, Y.J., Menjivar, J.C., Gómez, A. & Aranzazu, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*, 63(2): 145-152. Palmira, Valle del Cauca: Universidad Nacional de Colombia

**29.** Rao, I.M. (2009). Essential plant nutrients and their functions. Working Document No. 36. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

**30.** Sánchez, M. E. (1980). Diccionario de plantas agrícolas. Servicio de Publicaciones Agrarias: Madrid, España: Ministerio de Agricultura.

**31.** Teixeira, N.T., Polato, A.M. & Tavares, M.A.G.C. (2000). Extração de nutrientes pela cultura da caléndula (*Calendula officinalis* L.). *Rev. Ecosistema* Vol. 25(2):135-136. Espirito Santo, Brasil: Centro Regional Universitario de Espirito Santo do pinhal

**32.** Tisdale, S.L., Havlin, J. & Nelson, W. (2005). Fertility and fertilizers An Introduction to nutrient Management. Seventh edition. New Jersey, E.E.U.U: Prentice Hall

**33.** Valencia, A.G. (1999). Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná (Colombia), Agro insumos del café S.A. Chinchina, Manizales: Cenicafé

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 15 de febrero de 2015
Aceptado: 23 de marzo de 2015

# Contribución de *Vigna unguiculata* L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar

# Contribution of *Vigna unguiculata* L. to the sustainability of systems for the cultivation of sugar cane

## *Vigna unguiculata L. contributo para a sustentabilidade dos sistemas de produção de cana*

**Oscar Eduardo Sanclemente Reyes[1], Milton Cesar Ararát Orozco[2] & Cristihan Andrés De la cruz Cardona[3]**

[1]Ingeniero Ambiental, Especialista en Pedagogía, Magister en Ciencias Agrarias, Doctor en Agroecología. [2]Ingeniero Agrónomo, Magister y Doctor en Ciencias Agrarias. [3]Agrónomo.

[1, 2]Programa de Ingeniería Ambiental. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Palmira. Valle. Colombia. [3]Gerencia de Campo. Supervisor de Campo. Ingenio Azucarero Riopaila Castilla. Bugalagrande. Valle. Colombia

[1]osedusancle20@hotmail.com, [2]milton.ararat@hotmail.com, [3]cristihan.agro@hotmail.com

### Resumen

Con el objetivo de evaluar la contribución del abono verde (AV) *Vigna unguiculata* L., a la producción sostenible de caña de azúcar (CA) *Saccharum officinarum* L. Var. CC 85-92 en un Vertisol del Valle del Cauca (Colombia), se usó diseño experimental en bloques completos al azar y cinco repeticiones. Los tratamientos fueron: (C) Control- soca de CA, (AV1) siembra 1X1 AV- CA, (AV2) siembra 2X1 AV- CA, (AV1+R) siembra 1X1 AV inoculada con *Rhizobium* sp.- CA, y (AV2+R) siembra 2X1 AV inoculada con *Rhizobium* sp.- CA. Se evaluó el aporte de biomasa del AV, la biomasa de arvenses asociadas y la humedad del suelo, durante el mes dos. En maduración de CA (mes once) se evaluó la concentración de sólidos y sacarosa en tallos. En cosecha de CA (mes trece) se evaluaron las toneladas de caña por hectárea (TCH), el rendimiento y las toneladas de azúcar por hectárea (TAH), como efecto de los tratamientos. Se observó que el inóculo *Rhizobium* sp., no tuvo efectos aparentes, por baja especificidad simbiótica con el AV. El AV2, registró aporte significativo ($p<0.05$) de materia seca (14.5 t $ha^{-1}$) incidiendo en reducción de arvenses y retención de humedad (161 $m^3$ $ha^{-1}$), frente al C. El AV1 registró productividad en TCH (131.5 t $ha^{-1}$) y TAH (15.5 t $ha^{-1}$), significativamente ($p<0.05$) altas con respecto a los demás tratamientos. Estos resultados muestran las bondades del uso de sistemas intercalados AV- caña de azúcar, sobre la economía y sustentabilidad del sector.

**Palabras clave:** biomasa, sustentabilidad, economía de cultivo, cambio climático.

### Abstract

With the objective of evaluating the contribution of green manure (AV) *Vigna unguiculata* L., to the sustainable production of sugarcane (CA) *Saccharum officinarum* L. Var. CC 85-92 in a Vertisol from the Valle del Cauca (Colombia), an experiment with five repetitions and completely randomized block ex-

perimental design was used. The treatments were: (C) Control - CA, (AV1) soca seeding 1 X 1 AV - CA, (AV2) seeding 2 X 1 AV - CA, (AV1) seeding 1 X 1 AV inoculated with *Rhizobium* sp-CA, and (AV2 R) seeding 2 X 1 AV inoculated with *Rhizobium* sp-CA. Three variables were evaluated during the second month: contribution of AV biomass, weeds associated biomass and moisture of the soil. During maturation of CA (month 11) the concentration of solids and sucrose on stems were evaluated. In the harvest stage of CA (13 month) tons of cane per hectare (TCH), performance and tons of sugar per hectare (TAH were evaluated), as an effect of the treatments. It was observed that the *Rhizobium inoculum* SP., had no apparent effects, due to low symbiotic specificity with the AV. The AV2, showed significant contribution ($p < 0.05$) for dry matter (14.5 t $ha^{-1}$) on reduction of weed and moisture retention (161 $m^3$ $ha^{-1}$), in comparison to C. The AV1showed significantly higher productivity measured in TCH (131.5 t $ha^{-1}$) and TAH (15.5 t $ha^{-1}$), ($p < 0.05$) compared to the other treatments. These results showed the benefits of the use of intercropping systems AV - sugar cane, on the economy and sustainability of the sector.

**Key-words:** biomass, sustainability, economy of cultivation, climate change.

## Resumo

Com o objetivo de avaliar a contribuição do adubo verde (AV) Vigna unguiculata L. na produção sustenível da cana de açucar (CA) Saccharum officinarum L. Var. CC 85-92 em um Vertisol do Vale do Cauca (Colômbia) foi estabelecido um delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados com cinco repetições, sendo que os tratamentos foram: (C), Control-soca de CA; (AV1), semeadura 1X1 AV-CA; (AV2), semeadura 2X1 AV-CA; (AV1+R), semeadura 1X1 AV inoculada com Rhizobium sp.- CA; (AV2+R), semeadura 2X1 AV inoculada con Rhizobium sp.- CA. Avaliou-se o aporte de biomassa do AV, a biomassa de arvenses associadas e a umidade do solo no mês dois. Na maturidade de CA (mês onze), avaliou-se a concentração de sólidos e sacarose nos caules. Em colheita de CA (mês treze) se avaliaram as toneladas de cana por hectarea (TCH), produtividade e as toneladas de açúcar por hectarea (TAH) como efeito dos tratamentos. Constatou-se que o inoculo Rhizobium SP., não teve efeitos aparentes pela baixa especificidades simbiótica com o tratamento AV. O tratamento AV2 registrou aporte significativo ($p<0.05$) de materia seca (14.5 t ha-1), impactando na redução de arvenses e na retenção de umidade (161 m3 ha-1) em relação ao tratamento C. O tratamento AV1 registrou productividade em TCH (131.5 t ha-1) e TAH (15.5 t ha-1) significativamente altas ($p<0.05$) em contraste com os demais tratamentos. Estes resultados mostram as bondades do uso de sistemas intercalados AV- cana de açúcar sobre a economía e sustentabilidade do setor.

**Palavras-chave:** biomassa, sustentabilidade, economia, economía da cultura, mudança climática.

## Introducción

La producción industrial de caña de azúcar *Saccharum offcinarum* L. en Colombia, se concentra en cerca de 230.000 ha en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Nariño y Risaralda (ASOCAÑA, 2008). Este sistema de producción se caracteriza por monocultivos extensos manejados convencionalmente. En las últimas décadas, la productividad del cultivo en toneladas de caña por hectárea (TCH) se ha incrementado sustancialmente, debido principalmente a factores como: desarrollo de variedades adaptadas a condiciones agroecológicas específicas, implementación de agricultura específica por sitio y uso de sistemas de monitoreo y seguimiento.

Sin embargo, se han reportado externalidades en el sistema como: compactación, salinización, sodización y pérdida de la materia orgánica del suelo;

debidos al continuo uso de maquinaria, sistemas de irrigación ineficientes, aplicación de agroquímicos y quema de caña en cosecha, que afectan su sostenibilidad (Dávalos, 2007; Franco, Torres & Patoja, 2009; Zúñiga, Osorio, Cuero & Peña, 2011; Pérez, Peña & Álvarez, 2011; Cuero, 2012).

Por consiguiente, uno de los desafíos del sector azucarero es el desarrollo de tecnologías alternativas de bajo costo para el mejorar la fertilidad de los cultivos, al tiempo que reduzcan los impactos ambientales sobre el suelo y los recursos hídricos. Una de estas alternativas son los abonos verdes AV, que consisten en la siembra en intercalado o rotación de especies leguminosas, que por fijación del $N_2$ atmosférico suministran cantidades considerables de éste y otros nutrientes al suelo, vía aporte de materia orgánica de rápida descomposición (Da Costa *et al*., 1993; Prager *et al*., 2012).

El frijol caupí *Vigna unguiculata* L., es bastante usado como AV en asocio con gramíneas de interés económico, gracias a su alta producción de biomasa, capacidad adaptativa el medio, rápido crecimiento y alta fijación de $N_2$ por simbiosis con rizobios del suelo (Gana & Busari, 2001; Obando, 2012; Sanclemente, 2013). En el cultivo de cañas orgánicas, el uso de frijol caupí viene tomando cada vez más auge entre los productores del departamento. El objetivo de este estudio fue evaluar la contribución del AV *Vigna unguiculata* L., a la producción sostenible de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. Variedad CC 85-92, en un Vertisol del Valle del Cauca (Colombia).

## Materiales y métodos

### *Localización y características iniciales del suelo*

El ensayo se realizó durante el año 2015 en la Hacienda Lucernita, jurisdicción del municipio de Bugalagrande (Valle del Cauca). El suelo clasificado como Vertisol, presentó textura Arcillosa, densidad aparente (1.4 g $cm^{-3}$), pH (7.4), M.O. (1.72%), N-total (0.08%), P (8.3 mg $kg^{-1}$), K (0.3 meq $100g^{-1}$), Ca (20.6 meq $100g^{-1}$) y Mg (6.2 meq $100g^{-1}$). Antes del ensayo, el suelo estuvo sembrado por seis años con la variedad de caña CC 85- 92 de CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar. Valle del Cauca. Colombia).

### *Establecimiento del ensayo en campo*

El suelo se preparó mecánicamente, usando subsolador de cinco brazos y Minitandem, a 25 y 45 cm de profundidad, respectivamente. Se realizaron dos pases con discos de arado para acomodar la semilla de caña de azúcar. Mediante diseño experimental en bloques completos al azar y cinco repeticiones, se establecieron los siguientes tratamientos: (C) Control- soca de caña de azúcar, (AV1) siembra de frijol caupí intercalado en surcos 1X1 con soca de caña de azúcar, (AV2) siembra de frijol caupí intercalado en surcos 2X1 con soca de caña de azúcar, (AV1+R) siembra de frijol caupí intercalado en surcos 1X1 con soca de caña de azúcar más inóculo *Rhizobium* sp., (AV2+R) siembra de frijol caupí intercalado en surcos 2X1 con soca de caña de azúcar más inóculo *Rhizobium* sp. Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en parcelas de 31.2 $m^2$ (19.0 x 1.65m).

En AV1+R y AV2+R, las semillas de frijol caupí se embebieron durante 15 minutos en solución al 1% del producto comercial Rhizobacter (*Rhizobium* sp.). Posteriormente, las semillas embebidas se secaron a la sombra durante 2 horas, para garantizar la inoculación de la cepa. La siembra del frijol caupí se realizó con máquina sembradora de cadena de 4 tarros, que aportaron entre 25 y 28 semillas $m^{-1}$. Se aplicó lámina de 30 mm de riego de germinación después de siembra, empleando cañones de aspersión. Luego de 15 días, se reinocularon las parcelas AV1+R y AV2+R con solución Rhizobacter al 1%, usando bomba de aspersión manual. Las labores de riego durante el ensayo, se realizaron tomando como referencia el software balance hídrico de CENICAÑA, buscando mantener la humedad del suelo a capacidad de campo.

***Evaluación de biomasa del frijol caupí y arvenses acompañantes***

Transcurridos 48 días de la siembra, se colectó la biomasa de frijol caupí y arvenses acompañantes, empleando la técnica del cuadrante (0.5 x 0.5m) descrita por López, Fontenot & García (2011). Se tomaron diez submuestras al azar dentro de las parcelas, incluyendo tallos, ramas y hojas. La biomasa colectada dentro del cuadrante, se secó al aire durante 10 días y posteriormente, se evaluó su materia seca mediante balanza digital. Los valores de materia seca se extrapolaron a ha.

***Evaluación de la humedad del suelo***

Simultáneamente a la evaluación de biomasa, se tomaron muestras de suelo a 0-10 cm de profundidad en cada parcela experimental, para estimar la retención de humedad por gravimetría, como lo describe Jaramillo (2002). Inicialmente, la masa de suelo húmedo se cuantificó en campo, posteriormente, las muestras se llevaron al laboratorio donde se secaron al horno a 105ºC durante 24 horas. Finalmente, se cuantificó la masa de suelo seco y la humedad gravimétrica.

***Evaluación de variables de interés económico en caña de azúcar- Variedad CC 85-92***

Durante el mes once posterior a la siembra, se evaluó en campo el contenido de sólidos solubles en los jugos de caña de azúcar. Para ello, se tomaron diez plantas al azar dentro de las parcelas experimentales y se midió en sus entrenudos el contenido de sólidos solubles (% brix), mediante uso de refractómetro. Adicionalmente, se evaluó en los jugos el contenido de sacarosa, por método polarimétrico según lo descrito por Herrera (2011). La pureza se estimó como la razón porcentual entre el contenido de sacarosa y los grados brix de los jugos.

Al mes trece se cosecharon los tallos de caña de azúcar, descartando los bordes en cada parcela y extrapolando la productividad a TCH. El rendimiento se estimó como la razón porcentual entre las toneladas de azúcar por ha (TAH) (Adaptado de datos de producción final de azúcares, suministrados por el ingenio azucarero Rio Paila- Castilla S.A. Valle del Cauca) y las TCH cosechadas.

***Análisis estadístico de los datos***

A los resultados se les realizó Análisis de Varianza ANDEVA y comparación de medias de TUKEY ($p<0.05$), usando el paquete estadístico SAS versión 9.2 (2008).

## Resultados y discusión

***Biomasa de frijol caupí***

El aporte de biomasa en prefloración de frijol caupí, en aquellos tratamientos donde se sembró la especie, se muestra en la Figura 1. El análisis de varianza para datos de biomasa, registró diferencias entre tratamientos. De acuerdo con la prueba de medias de Tukey, AV2 obtuvo 4.5 t $ha^{-1}$ de materia seca, significativamente ($p<0.05$) mayor a las demás. Este registro fue similar a los obtenidos en otras investigaciones (Duarte *et al.,* 1995; Padilla, Colón & díaz, 2001; Shindoi, Prause & Jover, 2012) donde el frijol caupí fue usado como AV, aportando C humificable y nutrientes como N, P, K, Ca, entre otros.

La aplicación de cepa *Rhizobium* sp., tanto en AV1+R y AV2+R no incidió positivamente sobre incrementos en la materia seca de caupí. De acuerdo a Obando (2012), la simbiosis efectiva rizobio- frijol Caupí, depende de la afinidad génetica entre la especie y la planta, encontrándose dentro del mismo género *Rhizobium* sp., gran diversidad de especies. Por su parte, Delgado, Casella & Bedmar (2007) registraron que la aplicación de *Rhizobium sullae* y *Rhizobium etli* en suelos con bajos contenidos de materia orgánica, generaron inmovilización y desnitrificación microbiana, sin lograr simbiosis efectiva con Caupí para fijación de $N_2$. En la presente investigación, el frijol caupí logró desarrollar simbiosis con rizobios nativos del suelo.

La densidad de siembra, fue otra variable que incidió sobre la producción de materia seca en caupí, que se incrementó hasta 53% cuando se duplicó el número de surcos en AV2, indicando mayor beneficio sobre aportes de materia orgánica al suelo, con posterior mineralización y disponibilidad de nutrientes.

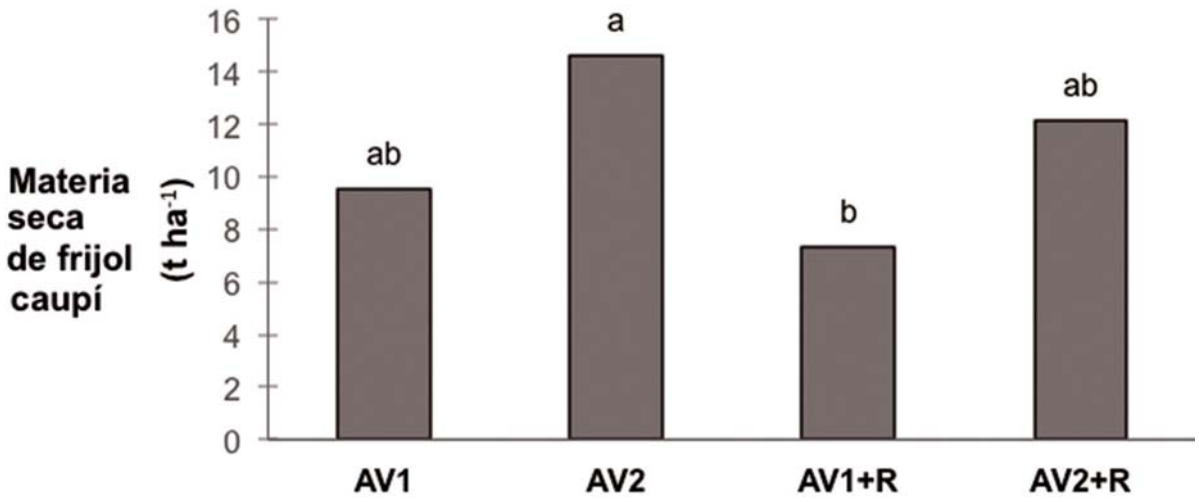


**Figura 1.** Producción de biomasa de frijol caupí (t $ha^{-1}$) de materia seca, para los tratamientos evaluados. Se realizó prueba de Tukey ($p<0.005$).

***Biomasa de arvenses acompañantes***

En el cultivo de caña de azúcar, la presencia de arvenses afecta su desarrollo durante los primeros meses por interferencia de luz y nutrientes, siendo factor negativo en productividad. En este ensayo, el análisis de varianza para biomasa de arvenses, registró diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos. De acuerdo con la prueba de medias de Tukey, el tratamiento de control (C) obtuvo 12.7 t $ha^{-1}$ de materia seca, significativamente ($p<0.05$) mayor a los demás, como se muestra en la Figura 2.

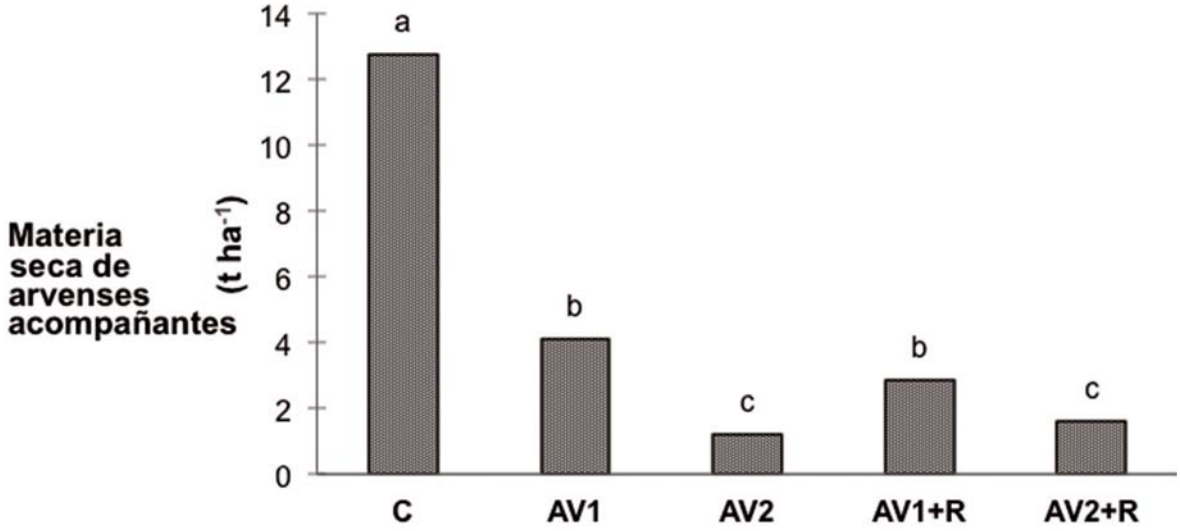


**Figura 2.** Producción de biomasa de arvenses (t $ha^{-1}$) de materia seca, en los tratamientos evaluados. Se realizó prueba de Tukey ($p<0.005$).

El suelo desnudo en el tratamiento de control, posibilitó la geminación de plantas acompañantes del cultivo de caña de azúcar, que tuvieron condiciones óptimas como disponibilidad de luz, agua y nutrientes del suelo para su desarrollo. En contraste, la siembra de caupí como AV en los demás tratamientos, redujo notablemente las posibilidades de germinación y desarrollo de arvenses. El rápido desarrollo del caupí, actúa como agente supresor de arvenses acompañantes sobre todo de hoja angosta, dada la exigencia de luz de las gramíneas (Berlingeri, Yuncosa & Pérez, 2008).

Registros históricos de la Hacienda Lucernita, indican la presencia de gran variedad de arvenses pertenecientes a la familia de las gramíneas como: *Cyperus rotundus*, *Cyperus ferax*, *Rottboelia exaltata*, *Sorghum halepense*, entre otras, que acompañan el cultivo de caña de azúcar. Por su parte, Gómez (1995), reporta alta persistencia de éstas y otras especies de gramíneas en suelos cultivados con caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca. En esta investigación, la siembra 2X1 de caña con caupí, redujo notoriamente las arvenses acompañantes por su alta producción de biomasa, como se ilustró en la Figura 1.

La supresión de arvenses con el uso de caupí como AV en el cultivo de caña de azúcar, es un factor ambientalmente positivo debido a la posibilidad de reducir ostensiblemente la aplicación de herbicidas pre y pos-emergentes, que contaminan el suelo y los recursos hídricos de la región.

***Humedad del suelo***

Uno de los factores más importantes para el desarrollo del cultivo de caña de azúcar, es la disponibilidad de agua en el suelo. En este ensayo, el análisis de varianza para datos de humedad gravimétrica del suelo no marcó diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos (Figura 3).

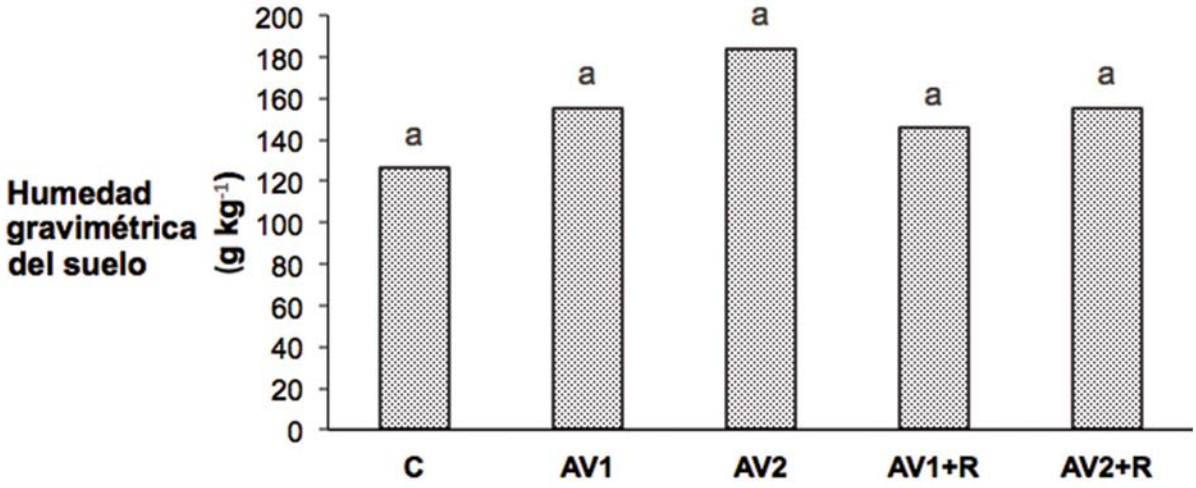


**Figura 3.** Humedad gravimétrica del suelo (g $kg^{-1}$) en todos los tratamientos evaluados. Se realizó prueba de Tukey ($p<0.005$).

Esto indica que tanto los AV como el tratamiento control se comportaron de manera similar para esta variable. A pesar de esto, existieron valores altos de humedad gravimétrica en AV2 que registró 184 g $kg^{-1}$. En términos de lámina de agua, la diferencia entre AV2 y C fue de 16.1 mm,

equivalentes a 161 $m^3$ $ha^{-1}$. Este valor es importante, considerando los requerimientos hídricos del cultivo de caña de azúcar, que oscilan entre 1200 y 1500 mm $año^{-1}$ (CENICAÑA, 1995).

En el departamento del Valle del Cauca (Colombia), las temporadas secas en suelos arcillosos como el caso de estudio, generan agrietamientos por expansión en superficie de arcillas 2:1, afectando notablemente sus propiedades mecánicas y dejándo el suelo expuesto a la erosión. De aquí la importancia de mantener el suelo protegido con vegetación de cobertura, sobre todo de hoja ancha. Prager *et al*. (2012) resaltan las ventajas comparativas del uso de AV para proteger el suelo de la erosión y retener la humedad, siendo alternativa viable ante eventos de cambio climático.

***Productividad en caña de azúcar***

Los datos de productividad de caña de azúcar se presentan en la Tabla 1. La concentración de sólidos (% brix) en jugos, fluctuó entre 18.7 y 19.0% en los tratamientos, sin registrarse diferencias significativas ($p<0.05$) entre ellos. Del mismo modo, la concentración de sacarosa estuvo entre 17.4 y 18.1%, sin diferencias estadísticas. Estos valores fueron similares a los registrados por Larrahondo & Villegas (1995), en variedades comerciales de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca. Aparentemente, la concentración de sólidos y sacarosa en los jugos de caña de azúcar, son afectadas por la siembra intercalada de frijol caupí como AV.

***Tabla 1.*** *Productividad de tallos de caña de azúcar Var. CC 85-92, en los tratamientos evaluados*

| Tratamiento | Sólidos* Brix (%) | Sacarosa* (%) | Pureza* (%) | TCH** (t $ha^{-1}$) | Rendimiento** (%) | TAH** (t $ha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 19.1 a | 17.7 a | 92.7 a | 107.3 ab | 12.0 a | 12.9 ab |
| AV1 | 18.7 a | 17.4 a | 93.0 a | 131.1 a | 11.8 a | 15.5 a |
| AV2 | 18.9 a | 17.5 a | 92.6 a | 93.35 b | 11.9 a | 11.1 b |
| AV1+R | 19.0 a | 18.1 a | 95.3 a | 123.7 a | 12.4 a | 15.3 a |
| AV2+R | 18.9 a | 17.8 a | 94.2 a | 102.7 ab | 12.1 a | 12.5 ab |

*Evaluación durante el mes 11. ** Evaluación durante el mes 13.

Se realizó prueba de Tukey ($p<0.005$).

Por su parte, la productividad medida en TCH si marcó diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos, destacándose AV1 y AV1+R con 131.1 y 123.7 t $ha^{-1}$ respectivamente. Los valores de TCH en los tratamientos C, AV2 y AV2+R fueron inferiores a la media regional para la variedad CC 85-92, estimada en cerca de 112 t $ha^{-1}$ (Besosa, 2006; Microfertiza, 2008; CENICAÑA, 2014).

De manera similar al contenido de sólidos, la variable rendimiento tampoco varió entre tratamientos. La siembra intercalada de frijol caupí como AV en caña de azúcar, no incide específicamente en la concentración de azúcares en los tallos, que está más influenciada por aspectos fisiológicos ligados a la fotosíntesis, la humedad del suelo y la técnica de maduración empleada (Subirós, 2000). En el Valle del Cauca, el rendimiento promedio para la variedad CC 85-92 es de 11.5% (CENICAÑA, 2014), similar a los valores obtenidos en este ensayo.

A nivel económico, la variable TAH es muy importante ya que de ella dependen en buena medida los ingresos monetarios del sector azucarero. El promedio regional de TAH para la variedad CC 85-92 es de 12.9 t $ha^{-1}$ (CENICAÑA, 2014). En el

ensayo, los tratamientos AV1 y AV+R fueron significativamente ($p<0.05$) mayores a los demás, con valores de TAH de 15.5 y 15.3 t $ha^{-1}$, respectivamente. La aplicación de la cepa *Rhizobium* sp. en AV1+R, generaría un costo adicional sin beneficios económicos en la producción de azúcar. Por su parte, el AV1 incrementaría los ingresos económicos percibidos por productividad de azúcar en cerca de 20%, con respecto al tratamiento control y al promedio regional, siendo un aspecto importante para la sustentabilidad del sector.

## Conclusiones

Bajo las condiciones en las que se desarrolló este ensayo, el AV frijol caupí *Vigna unguiculata* L., aportó cantidades considerables de materia orgánica al suelo, redujo las poblaciones de arvenses e incrementó la productividad de azúcar cuando se sembró en surcos 1x1 con caña de azúcar, convirtiéndose en alternativa tecnológica viable a favor de la sustentabilidad del sector azucarero.

## Agradecimientos

Los autores presentan sus agradecimientos al Programa Semilleros de Investigación de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, al Ingenio azucarero RíoPaila-Castilla S.A. y al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar CENICAÑA.

## Literatura citada


1. ASOCAÑA. (2008). Asumiendo los retos con energía. Informe anual 2007-2008. Cali. 1, 51.
2. Berlingeri, C., Yuncosa, N. & Pérez, T. (2008). Evaluación de cinco leguminosas en barbecho mejorado para el control de malezas en la planicie del río Motatán, Estado Trujillo, Venezuela. *Revista Agronomía Tropical. Vol. 58*(2): 117- 123.
3. Besosa, R. (2006). Respuesta de la caña de azúcar, variedad CC 85-92, a la fertilización con elementos menores. Memorias VII Congreso de Tecnicaña. Cali. p. 112-117.
4. CENICAÑA. (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali. *CENICAÑA, Vol. 1*, 31-62.
5. CENICAÑA. (2014). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Informe anual 2014. Recuperado de: http://www.cenicana.org/web2/index.php/publicaciones
6. Cuero, R. (2012). Hacia un sistema complementario de producción más limpia en suelos degradados por salinidad. *Revista Ambiente y Sostenibilidad. Vol. 2:* 59-68.
7. Da costa, M.B., Calegari, A., Mondardo, A., Bulisani, E.A., Wildner, L., Alcântara, P., Miyasaka, S. & Amado, T. J. (1993). Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, ASPTA. Segunda Edição. 346p.
8. Dávalos, E. (2007). La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad? *Revista Desarrollo y Sociedad. Vol. 59*: 117- 164. *Edición electrónica.*
9. Delgado, M.J., Casella, S. & Bedmar, E.J. (2007). Denitrification in Rhizobia-Legume Symbiosis. Chapter 6. In Biology of the Nitrogen Cycle. Edited by H. Bothe, S.J. Ferguson and W.E. Newton. 10p.
10. Duarte, J.M., Pérez, H.E., Pezo, D.A., Arce, J., Romero, F. & Argel, P.J. (1995). Producción de maíz (Zea mays L.), soya (Glycine max L.) y Caupí (Vigna unguiculata L. Walp) sembrados en asocio con gramíneas del trópico húmedo. *Revista Pasturas Tropicales. Vol. 17* (2): 12- 19.
11. Franco, R., Torres, J.S. & Patoja, J.E. (2009). Impacto de la siembra a 1.75 m en la productividad de caña de azúcar en el Ingenio Mayagüez. Memorias VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar- 2009. Cali. Pp: 298- 302.
12. Gana, A.K. & Busari, L.D. (2001). Effect of Green Manuring and Farm Yard Manure on Growth and Yield of Sugarcane. National Cereals Research Institute, P.M.B. 8, Bida, Niger State, Nigeria. *Sugar Tech. Vol. 3(*3): 97- 100.
13. Gómez, J.F. (1995). Control de malezas. En: CENICAÑA. EL cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA. pp. 143- 152.
14. Herrera, A. (2011). Estudio comparativo de métodos para la determinación de sacarosa y azúcares reductores en miel virgen de caña utilizados en el ingenio Pichichí S.A. (tesis de pregrado) Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. 131p.
15. Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 619p.
16. Larrahondo, J. & Villegas, F. (1995). Control y características de maduración. En CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA. pp: 297- 313.
17. López, G I., Fontenot, J. P. & García, T. (2011). Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de Festuca alta. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. Vol. 2*(2): 209- 220.
18. Microfertiza (2008). Producción y calidad de la caña de azúcar con nutrimentos Microfertisa. *Revista Tecnicaña. Vol. 12*(20): 28- 31.
19. Obando, D.M. (2012). Respuesta fisiológica del frijol Caupí (Vigna unguiculata L.- Walp) a la coinoculación de bacterias diazotróficas de los géneros Azotobacter y Rhizobium en suelos del departamento del Cesar. (tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 78p.

**20.** Padilla, C., Colom, S. & Díaz, M.F. (2001). Efecto del intercalamiento de *Vigna unguiculata* y *Zea maiz* en el establecimiento de *Leucaena leucocephala* vc Perú y *Panicum maximum* vc likoni. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Vol. 35*(2): 167-173.

**21.** Pérez, M.A., Peña, M.R. & Álvarez, P. (2011). Agroindustria cañera y uso del agua: Análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Revista Ambiente & Sociedade. Vol. 14*(2): 153- 178. Campinas.

**22.** Prager, M., Sanclemente, O.E., Sánchez de Prager, M., Gallego, J.M. & Ángel, D.I. (2012). Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Revista Agroecología, No. 7*: 53- 62. Murcia España.

**23.** Sanclemente, O.E. (2013). Efecto de *Mucuna pruriens* sobre la actividad simbiótica rizosférica y la movilización de N y P en un sistema de cultivo: maíz (*Zea mays* L.) y soya (*Glycine max* L.). (tesis doctoral) Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 123p.

**24.** Shindoi, M., Prause, J. & Jover, P.L. (2012). Descomposición de Vigna unguiculata (caupí) en un Argiudol Típico de Colonia Benítez, Chaco. *Revista RIA. Vol. 38(*1): 86-90.

**25.** Subirós, F. (2000). El cultivo de la caña de azúcar. Edit. Eunet. San José de Costa Rica. 448p.

**26.** Zúñiga, O., Osorio, J.C., Cuero, R. & Peña, J. (2011). Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de Suelos Degradados por Salinidad. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. Vol. 64(*1): 5769- 5779.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 11 de marzo de 2015
Aceptado: 07 de abril de 2015

# Aprovechamiento forestal maderable en cuatro municipios del departamento de Chocó, Colombia

## Timber forestry in four municipalities in the department of Chocó, Colombia

## *Exploração madeireira em quatro municípios no departamento de Chocó, Colômbia*

**Melida Martínez Guardia[1], Jhon Jerley Torres Torres[2] & Henry Hernan Medina Arroyo[3]**

[1]Zootecnista, Especialista en Informática Educativa, Magister en Ciencia de Reproducción Animal, Doctora en Ciencia Animal.[2]Ingeniero Agroforestal. [3]Ingeniero Agroforestal, Magister en Manejo de Bosque.

[1, 2, 3]Grupo de Investigación Ciencia Animal y Recursos Agroforestales (CARA), Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó. Colombia.

[1]melidamaguar@yahoo.es, [2]jhonjerleytorres@gmail.com, [3]hehemear@yahoo.com

### Resumen

Se caracterizó el aprovechamiento de los productos forestales maderables de cuatro municipios del departamento del Chocó, Colombia, teniendo en cuenta los procesos de transformación, uso y comercialización. Para la recolección de la información, se formularon encuestas estructuradas, las cuales fueron aplicadas a los aserradores y ebanistas; paralelo a esto, se realizaron visitas al bosque donde se observaron los procesos productivos. Como resultado se obtuvo que las especies maderables más aprovechadas en los municipios de Atrato, Cértegui, Istmina y Medio San Juan son: *Brosimum_utile, Hymenaea oblongifolia*, *Pseudolmedia laevigata*, *Cedrela odorata*, *Couma macrocarpa*, *Calophyllum longifolium* y *Humiriastrum procerum.* Los rendimientos promedios en la cosecha del bosque son 1,72 $m^3$ $hora^{-1}$, equivalente a 412 $m^3$ $mes^{-1}$, de los cuales se obtienen bloques y trozas. El 69% de este material es comercializado con intermediario y el 31% restante es vendido a los centros de acopios locales, quienes lo transforman en 2x2, Guayacanes, 2x3, vigas, tablas y soleras. Los desperdicios generados de las labores de aprovechamiento, en casi su totalidad no son aprovechados a excepción del aserrín, del cual una parte se utiliza en labores agropecuarias y el resto es arrojado a los ríos. Producto del segundo grado de transformación a nivel local se obtienen: camas, sillas, canaletes, canoas, entre otros materiales. Las actividades de cosecha del bosque en los cuatros municipios en estudio se caracterizan porque: son realizadas con motosierra, la madera obtenida es transportada a hombro, balsas (fluvialmente) y utilizando tracción animal. Referente a la relación beneficio costo, se obtuvo un valor de 6.

**Palabras clave**: aprovechamiento forestal, Chocó, especies maderables, tala selectiva, transformación

### Abstract

The use of the timber-yielding forest products from four municipalities of the department of Chocó, Colombia was characterized, considering the processes of transformation, use and commercialization. The gathering of information, was carried out by the formulation of structured surveys, which were applied to the sawyers and woodwor-

kers; in parallel, visits to the forest were conducted where the productive processes were observed. As a result, the most exploited timber species in the municipalities of Atrato, Cértegui, Istmina y Medio San Juan were identified: *Brosimum utile, Hymenaea oblongifolia, Pseudolmedia laevigata, Cedrela odorata, Couma macrocarpa, Calophyllum longifolium y Humiriastrum procerum.* The average yields in the harvest of the forest are 1,72 $m^3$ $hora^{-1}$, equivalently to 412 $m^3$ $mes^{-1}$, which blocks and troza are obtained. 69 % of this material is commercialized by intermediary and the remainder 31% is sold to local collection centers, where it is transformed in 2x2, Lignum vitae, 2x3, beams, stage and crossbeams. The waste generated in the productive processes are not used with the exception of the sawdust, of which a part of this is used in farm work, and the rest is thrown into the rivers. Product of the second degree of transformation at the local level as: beds, chairs, canaletes, canoes, among other material obtained. The activities of harvest of the forest in the four municipalities in study are characterized because: they are made with a chainsaw, timber is transported over the shoulder, rafts (river navigation) and using animal traction. Concerning the benefit cost relationship, a value of 6 was obtained.

**Key-words:** forestry, Chocó, timber species, selective logging, transformation

## Resumo

Caracterizou-se o aproveitamento dos produtos florestais madeireiros de quatro municípios do estado de Chocó, Colômbia, levando em consideração os processos de transformação, uso e comercialização. Para a coleta de informação, foram formuladas entrevistas estructuradas que foram aplicadas aos carpinteiros e ebanistas. Concomitantemete foram feitas visitas ao bosque onde se observaram os processos produtivos. Como resultado se obteve que as espécies madeireiras mais aproveitadas nos municípios de Atrato, Cértegui, Istmina e Medio San Juan são: A produtividade media na colheita do bosque corresponde a 1,72 m3 hora-1, equivalente a 412 m3 mes-1, sendo que desta é obtido blocos e trozas. O 69% dese material é comercializado com intermediário e o 31% restante é vendido aos centros de acopio locais onde o transformam. Os esperdícios gerados nas labores de aproveitamento não são 100% aproveitadas, exceto a serrage, da qual uma parte se utiliza em labores agropecuarias e o restante é jogado nos rios. Produto do segundo grau de transformação a nível local obtem-se: camas, cadeiras, canaletes, canoas, entre outros materiais. As atividades de colheita do bosque nos quatros municípios estudados se caracterizam porque são realizadas con motoserra, a madeira é obtida e transportada no ombro, fluvialmente e utilizando tração animal. Referente à relação beneficio – custo se obteve um valor de 6..

**Palavras-chave:** silvicultura, Choco, espécies de madeira, extração seletiva, processamento

## Introducción

Los bosques tropicales, se caracterizan por poseer una gran riqueza florística y faunística, por lo que son considerados grandes almacenes que albergan una amplia variedad de productos forestales maderables y no maderables, cuyo valor es inmensurable, especialmente para la economía de los países en desarrollo, dado que durante siglos, la población rural ha obtenido su subsistencia de estos ecosistemas, sobre todo, por la recolección y uso de los productos forestales maderables allí presentes (González, 2003; Arias, 2007; Challenger & Soberón, 2008; Guariguata *et al.,* 2009). Paralelo a esta situación, se entiende que aunque las

especies maderables han aportado al desarrollo de las comunidades campesinas y son muy conocidas a nivel local (tanto su nombre y sus usos), a nivel científico estos productos son prácticamente desconocidos, lo que ha ocasionado que en muchos países en desarrollo, como Colombia, halla una pérdida significativa del conocimiento tradicional sobre el uso de estas especies maderables (Benz, Cevallos, Santana, Rosales, & Graff, 2000; Katewa, Chaudhary & Jain, 2004; Córdoba & García, 2011; Cogollo & García, 2012).

Del mismo modo, se ha notado que en las comunidades la extracción del recurso maderable se realiza de forma artesanal, sin ningún tipo de mecanización y bajo conocimientos adquiridos empíricamente, efectuados de la siguiente manera: ubicación de área con potencial maderero; limpieza de árboles de lianas y bejucos; tumba, corte, derriba o apeo de árboles; limpieza de fustes, desrame, descope y troceo; labrado de trozas con ayuda de motosierra y/o hacha; apertura de trochas cuando es necesario (Marín, Cárdenas-López & Suárez-Suárez, 2005). En lo que se refiere al departamento de Chocó, hay que resaltar que no es ajeno a lo descrito anteriormente, debido a que las comunidades asentadas en estos suelos por tradición han utilizado el bosque para el aprovechamiento de manera selectiva, cosechando únicamente las especies maderables de alto valor comercial actual. Esta labor se adelanta mediante las siguientes actividades: selección y/o identificación de los arboles a talar, corte de lianas y bejucos, apeo del árbol, descope, desrame, troceo, descortezado, obtención de los productos, desembosque de la madera y transporte mayor de esta misma (Ramírez & Ledezma, 2007; Klinger, Ramírez & Guerra, 2011).

Lo anterior, demuestra que existen una serie de conceptos empíricos claros referidos al aprovechamiento de los recursos maderables del bosque, no obstante, la información disponible crea ciertas incertidumbre en lo que se refiere a las características del aprovechamiento como tal, encontrándose muchas veces restringida por falta de sistematización, lo cual afecta o retrasa el mejoramiento en los procesos productivos adelantados en los bosques del área de estudio. Conscientes y conocedores de esta situación, se realizó la presente investigación, buscando identificar las principales características del aprovechamiento forestal en los municipios de Atrato, Cértegui, Istmina y Medio San Juan del departamento de Chocó, Colombia. Más específicamente se abordaron temas como las especies más aprovechadas en el área de estudio, su transformación, producción por aprovechamiento, forma de comercialización de lo producido, residuos generados en las actividades de corta, conservación del material extraído, usos y costo-beneficio de la cosecha forestal. Toda esta información es útil como punto de partida para la toma de decisiones tendientes al mejoramiento de los procesos productivos a nivel de los ecosistemas forestales.

## Metodología

***Área de estudio.*** El presente estudio se realizó en los municipios de Atrato, Cértegui, Istmina y Medio San Juan (Figura 1), ubicados en el centro sur del departamento del Chocó, Colombia, geográficamente situados a 5°17´ N y 76°38´ W y 68 m.s.n.m. Posee una extensión de 4.126 $Km^2$ (8,9 % del área departamental), una población de 67.073 habitantes (13,7% de la población departamental); corresponde a la zona de vida de bosque pluvial tropical (bp-T), que se caracteriza por presentar temperatura promedio de 27°C, precipitación media de 9.000 mm anuales (Holdridge, 2000). Entre las actividades económicas desarrolladas en esta zona del departamento sobresale la explotación minera y maderera, agricultura de pancoger y muy poco la pesca (Mosquera, Escobar & Moreno, 2011).

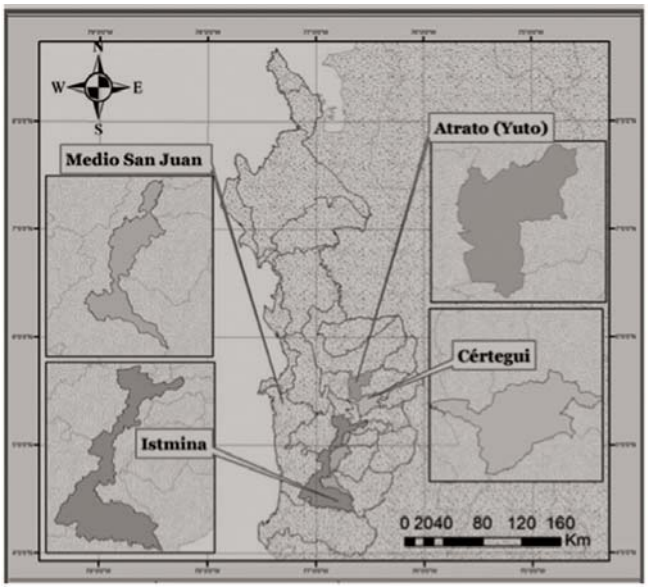


**Figura 1.** Ubicación del Área de estudio, departamento de Chocó, Colombia

***Métodos.*** El trabajo de campo consistió en encuestar y entrevistar al personal responsable de realizar el aprovechamiento maderero y a las personas que reciben beneficios directos e indirectos de esta misma actividad. Para una mayor organización, la investigación se realizó mediante tres fases a saber:

*Primera fase - fundamentación conceptual (Información secundaria).* Por medio de una revisión bibliográfica, se recabó información relacionada con los aprovechamientos forestales realizados en el departamento del Chocó. Para esto, se revisaron planes de manejo forestal y documentos de caracterización adelantados en el área de estudio. Esta fase se realizó antes y después de obtener la información primaria en campo.

*Segunda fase - recolección de información (Información primaria).* Se realizaron recorridos en el área de estudio y se interlocutó con personas de la comunidad que reciben beneficios directos e indirectos del bosque, de acuerdo a la metodología propuesta por los siguientes autores (Ramírez & Díaz, 2003; Cardona, 2006; López *et al.,* 2007; Medina, Martínez, Barrios & Bonilla, 2007; Córdoba & García, 2011; Moreno, Medina, Martínez & Ruiz, 2013; Torres, Arboleda & Medina, 2013). Esta parte de la investigación se enmarco en lo siguiente:

1. Una serie de encuestas estructuradas, las cuales fueron aplicadas a 80 personas (38 operarios de motosierras de los cuatro municipios en estudio, 25 ebanistas "personal de aserrío", 17 personas beneficiarias de las labores de aprovechamiento), con la finalidad de recabar información correspondiente al componente social de las actividades de tala, las especies forestales más aprovechadas en los cuatro municipios, la clase de productos que se obtienen a partir de estas especies, la permanencia de estos productos en el bosque, su conservación y la forma como se comercializan. De igual forma, por medio de la aplicación de las encuestas se recolectó información correspondiente a los costos del aprovechamiento y el valor de los productos obtenidos de las labores de corte. Adicional a lo anterior, se realizaron recorridos al interior del bosque, en los que se observaron de manera detallada las operaciones de corte, desrame, troceo, descortezado y transporte del material talado, con la finalidad de dar respuesta a los siguientes interrogantes: Qué especies se aprovechan con mayor frecuencia (criterios de

selección de los árboles a aprovechar), cuál es el diámetro mínimo de corta (DMC), la altura del fuste aprovechable, los productos que se obtienen, uso, transporte de las especies, destino de la producción y por último el costo de las actividades productivas.

2. Charlas y Entrevistas. Se sostuvieron conversaciones con las personas beneficiarias del material extraído del bosque, sobresaliendo aquellas que trabajan en los aserríos y las comunidades aledañas a la zona objeto de aprovechamiento forestal, con la finalidad de recabar información que permitiera determinar el uso del listado de especies obtenido mediante la aplicación de las encuestas y la clase de producto elaborado a nivel local.

***Tercera fase – Análisis de la información.*** En esta fase del trabajo se realizó la tabulación e interpretación de la información a través de tablas construidas utilizando el programa Microsoft Excel. Con los datos provenientes de campo se determinó la rentabilidad del aprovechamiento forestal, utilizando la Relación Costo Beneficio (R/B/C) (Gómez & Quirós, 2001), la cual se calculó mediante la ecuación 1:

R/B/C (1)

## Resultados

***Edades y nivel de escolaridad de las personas que realizan el aprovechamiento forestal***

Las personas encuestadas presentaron un rango de edad entre 25 – 61 años, siendo el rango de 30 y 40 años donde se encontró el mayor número de personas que realizan esta actividad, los cuales se dedican en 100% al aprovechamiento forestal. Además se puede mencionar que las personas entre 20 y 30 años, aunque hacen parte de los procesos productivos, combinan el aprovechamiento forestal con otras actividades (Figura 2A). Por otro lado, se encontró que el nivel de escolaridad de las personas que participan en las actividades de aprovechamiento es muy bajo, donde el máximo nivel alcanzado fue de grado 11 de bachillerato y la mayor parte del personal encuestado solo cursaron entre 1º - 5º grado de educación básica. (Figura 2B).

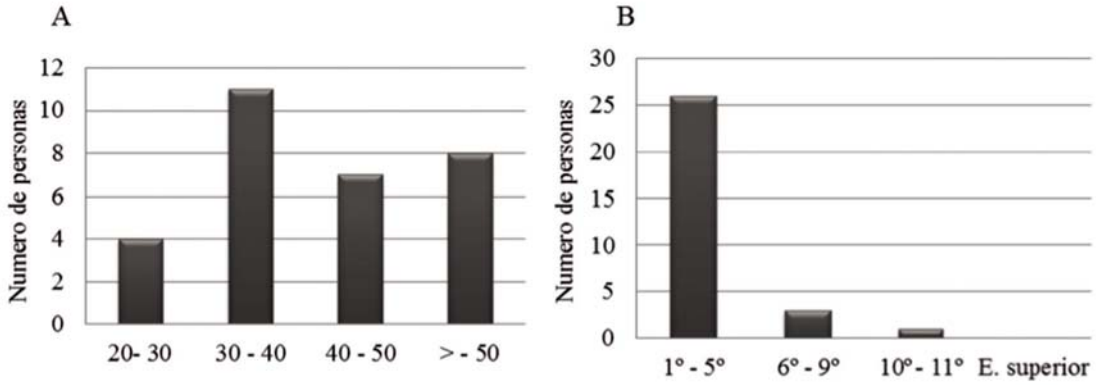


**Figura 2.** Rango de edad (A) y Nivel de escolaridad de las personas encuestadas (B).

***Especies más aprovechadas y principales características del aprovechamiento forestal***

Las especies forestales de valor comercial que se aprovechan con mayor frecuencia en los cuatro municipios de estudio son: Lechero (*Brosimum utile* (Kunth) Oken), Algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber.), Cauchillo (*Pseudolmedia laevigata* Trecúl), Cedro Macho (*Cedrela odorata* L.), Lirio (*Couma macrocarpa* Barb. Rodr.), Aceite (*Calophyllum longifolium* Willd.), Chanó (*Humiriastrum*

*procerum* Cuatr.), Chachajo (*Aniba perutilis Hemsl.*) y Caimito (*Pouteria amygdalicarpa* (Pittier) T.D. Penn.), dado que éstas son las especies con mayor demanda en el mercado regional, además son aquellas de las que se conocen algunos usos a nivel interno de la comunidad (Tablas 1 y 2).

El aprovechamiento forestal para estas especies se realiza de forma artesanal, sin ningún tipo de mecanización y bajo conocimientos adquiridos empíricamente, efectuados de la siguiente manera: ubicación de área con potencial maderero; limpieza de árboles de lianas y bejucos; tumbe, corte, derriba o apeo de árboles; limpieza de fustes, desrame, descope y troceo; labrado de trozas con ayuda de motosierra y/o hacha; apertura de trochas cuando es necesario. La tala de árboles de las especies más aprovechadas (Tabla 1) es realizada por cuadrillas de tres personas con una motosierra de referencia STIHL y SUPER STHIL 070 AV, con espada de 90 cm (con la cual se realiza también el descope, desrame, troceo y despunte de los árboles) y/o hacha para la obtención de leña.

***Tabla 1.*** *Especies forestales maderables registradas como las más aprovechadas en los cuatro municipios de estudio.*

| MUNICIPIOS | | | |
|---|---|---|---|
| **Atrato** | **Cértegui** | **Istmina** | **Medio San Juan** |
| *Couma macrocarpa Barb*. Rodr. | *Humiriastrum procerum* Cuatr. | *Hymenaea oblongifolia* Huber. | *Cedrela odorata* L. |
| *Virola sebifera* Aubl. | *Couma macrocarpa* Barb. Rodr. | *Symphonia globulifera* L. | *Brosimum utile* (Kunth) Oken |
| *Brosimum utile* (Kunth) Oken | *Himatanthus sucuuba* Woodson | *Protium amplum* Cuatrec. | *Symphonia globulifera* L. |
| *Hymenaea oblongifolia* Huber. | *Simarouba amara* Aubl. | *Aniba perutilis Hemsl.* | *Hieronyma antioquensis* Cuatrec. |
| *Inga acrocephala* Steud. | *Brosimum utile* (Kunth) Oken | *Compsoneura cuatrecasasii* A.C. Sm. | *Pouteria amygdalicarpa* (Pittier) T.D. Penn. |
| *Humiriastrum procerum* Cuatr. | *Pouteria amygdalicarpa* (Pittier) T.D. Penn. | *Inga acrocephala* Steud. | *Himatanthus sucuuba* Woodson |
| *Licania micrantha* Miq. | *Cespedesia spathulata* (Ruiz & Pav.) Planch | *Garcinia intermedia* (Pittier) Hammel | *Hymenaea oblongifolia* Huber. |
| *Dipteryx oleifera* Benth. | | *Protium colombianum* Cuatrec. | *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) S. O. Grose |
| *Gustavia excelsa* R. Knuth | | *Cedrela odorata* L. | *Ocotea cernua* (Nees) Mez |
| *Pouteria amygdalicarpa* (Pittier) T.D. Penn. | | *Ocotea cernua* (Nees) Mez | *Protium amplum* Cuatrec. |
| | | *Hieronyma antioquensis* Cuatrec. | |

El diámetro de corte depende de la utilidad que se le va a dar a la madera, por ejemplo para la obtención de trozas, bloques, soleras, guayacanes, 2x2, 2x3 y tablas se cortan árboles con más de 40 cm de diámetro, mientras que para la obtención de varetas para andamios o material utilizado en bases y leña no se tiene en cuenta el DMC (incluyendo en estos, individuos de la regeneración natural). Los criterios de selección utilizados para la tala de árboles son: que la especie tenga buena demanda en el mercado, que los árboles sean preferiblemente grandes (con diámetro ≥ 40 cm), rectos y que el lugar donde se encuentran los ejemplares a talar sea de fácil acceso (buscando facilidad para el transporte del material talado).

El número de árboles a aprovechar está determinado por varios factores como: número de personas por grupo de trabajo, herramientas, equipos e insumos a disposición. La distribución de los árboles a ser aprovechados es aislada, por ejemplo en 1 ha pueden aprovecharse entre 10 y 16 árboles de alto valor comercial, cada uno de ellos con una altura comercial promedio de 9 a 16 m, y de cada árbol se pueden aprovechar entre 3 y 5 trozas (una troza tiene 3 a 3,20 m de largo por aproximadamente 40 cm de diámetro), es decir, que en una ha se obtiene un promedio de 30 a 80 trozas para ser comercializadas. Cuando el bosque es poco intervenido se pueden aprovechar en promedio 24 árboles $ha^{-1}$, de importancia económica

***Uso de las especies más aprovechadas.***
Entre las utilidades que se les da a los productos maderables en los municipios de Atrato, Cértegui, Istmina, y Medio San Juan, sobresalen la construcción de casas, canoas, canaletes y palancas para transporte fluvial; materiales como pilón y mazo para el trillado tradicional de arroz; armarios, camas, sillas y cucharones para el uso doméstico; a parte de esta utilidad se encuentra la medicinal, debido a que, especies como lirio y el palo de perico sirven para el tratamiento de enfermedades como gastritis y malaria respectivamente y de otras especies se utiliza la corteza para baños frescos (Tabla 2).

***Tabla 2.*** *Uso de los productos forestales maderables de los cuatro municipios de estudio*

| Nº de orden | Nombre común | Nombre Científico | Uso |
|---|---|---|---|
| 1 | Caraño | *Protium amplum* Cuatrec. | Construcción (Formaleta) |
| 2 | Lirio | *Couma macrocarpa Barb. Rodr.* | Construcción (Casa), Medicina tradicional (Cura de la gastritis, mediante el uso del exudado) |
| 3 | Nuanamo | *Virola sebifera* Aubl. | Construcción (Casa, cucharones) |
| 4 | Lechero | *Brosimum utile* (Kunth) Oken | Construcción (Formaletas y casas), |
| 5 | Algarrobo | *Hymenaea oblongifolia* Huber. | Construcción (casa), Alimentación, Medicina |
| 6 | Guamillo | *Inga acrocephala* Steud | Combustible (leña) Construcción (cucharones) |

continuación Tabla 2

| Nº de orden | Nombre común | Nombre Científico | Uso |
|---|---|---|---|
| 7 | Chanó | *Humiriastrum procerum* Cuatr. | Construcción (Mesa, casa, bateas, Armario, camas, etc.) |
| 8 | Carbonero | *Licania micrantha* Miq. | Construcción (camas, casa, etc.), combustible (leña) |
| 9 | Choibá | *Dipteryx oleífera* benth | Construcción (Canoas, cama, casa, Armario, pilón y maso) |
| 10 | Pacó | *Gustavia excelsa* R. Knuth | Construcción (Formaleta, casa) |
| 11 | Caimito | *Pouteria amygdalicarpa* (Pittier) T.D. Penn. | Construcción (palancas, casa, canaletes, etc.) |
| 12 | Palo Plátano | *Himatanthus sucuuba* Woodson | Construcción (Casas, formaletas) |
| 13 | Palo Perico | *Simarouba amara* Aubl. | Construcción, Medicina |
| 14 | Casaco | *Cespedesia spathulata* (Ruiz & Pav.) Planch | Construcción (Canoas, Bateas, casas, mesas, Armario, pilón y maso) |
| 15 | Manchare | *Symphonia globulifera* L. | Combustible (leña) |
| 16 | Anime | *Protium amplum* Cuatrec. | Construcción (canoas, palanca) |
| 17 | Chachajo | *Aniba perutilis* Hemsl. | Construcción (Canoas, palanca) |
| 18 | Cuangare | *Compsoneura cuatrecasasii* A.C. Sm. | Construcción (Palanca, casas, canaletes) |
| 19 | Aceite | *Garcinia intermedia* (Pittier) Hammel | Construcción (casas, Canoas) |
| 20 | Cedro Macho | *Cedrela odorata* L. | Construcción (Casas) |
| 21 | Jigua Negro | *Ocotea cernua* (Nees) Mez | Construcción (Formaletas, casas) |
| 22 | Guayacán | *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) S. O. Grose | Construcción (casas) |
| 23 | Pantano | *Hieronyma antioquensis* Cuatrec. | Construcción (Casas) |

***Red de caminos***

En las áreas donde se realiza el aprovechamiento se construyen trochas o mangas, de más de 3 m de ancho que varían en longitud (50 m – 200 m) de acuerdo a la distancia que exista hasta algún cauce bien sea quebrada o río, los cuales en épocas de lluvia aumentan el caudal de forma tal que permiten movilizar la madera en balsas.

***Transformación de la madera***

El primer grado de transformación de la madera es realizado en el bosque, en el que se obtienen bloques y trozas (Tabla 3). Los aserríos son los encargados del segundo grado de transformación (soleras, 2x2, 2x3, vigas, guayacanes y tablas camas, sillas, armario, muebles, etc.) (Figura 2), sin desconocer que muchas transformaciones se realizan fuera de estos dos espacios, ejemplo la construcción de canoas, bateas, palancas, canaletes, pilón, maso, etc. (construidos por tradición en las zonas rurales, preferiblemente en el sitio donde se apea el árbol) (Tabla 2**)**.

***Tabla 3.*** *Producción y forma de comercialización del material extraido del bosque*

| Material o producto obtenido | Producción ($m^3$) | Volumen Comercializado ($m^3$) | Destino |
|---|---|---|---|
| Trozas y Bloques | 412 | 284,28 | Mercado externo (Antioquia, Risaralda, principalmente) |
| | | 127,72 | Mercado Local |
| **Total** | | **412** | |

**Nota:** los 127,72 $m^3$ de madera son transformados en vigas, Guayacanes, 2x2, 2x3 y tablas en centros de acopio locales

***Proceso de aprovechamiento y forma de comercialización.***

El proceso de aprovechamiento forestal es realizado por cuadrillas de aserradores (tres personas) en periodos de 8 horas diarias, las cuales llegan a obtener producciones de 1,72 $m^3$ por hora, equivalente a 412 $m^3$ en un mes de trabajo (cuando es continuo). De este total, el 69% es para la producción de trozas y bloques, los cuales son comercializados con intermediario y transportados hacia departamentos como Antioquia y Risaralda. El 31% restante es vendido a los centros de acopios locales, quienes lo transforman en 2x2, Guayacanes, 2x3, vigas, tablas y soleras (Tabla 3; Figura 3). Los productos como trozas y bloques son apilados en el bosque, en el que permanecen de 3 a 10 días, hasta que son transportados en mulas o a hombro por trochas hasta la vía principal y en balsas (lugares cercanos al rio).

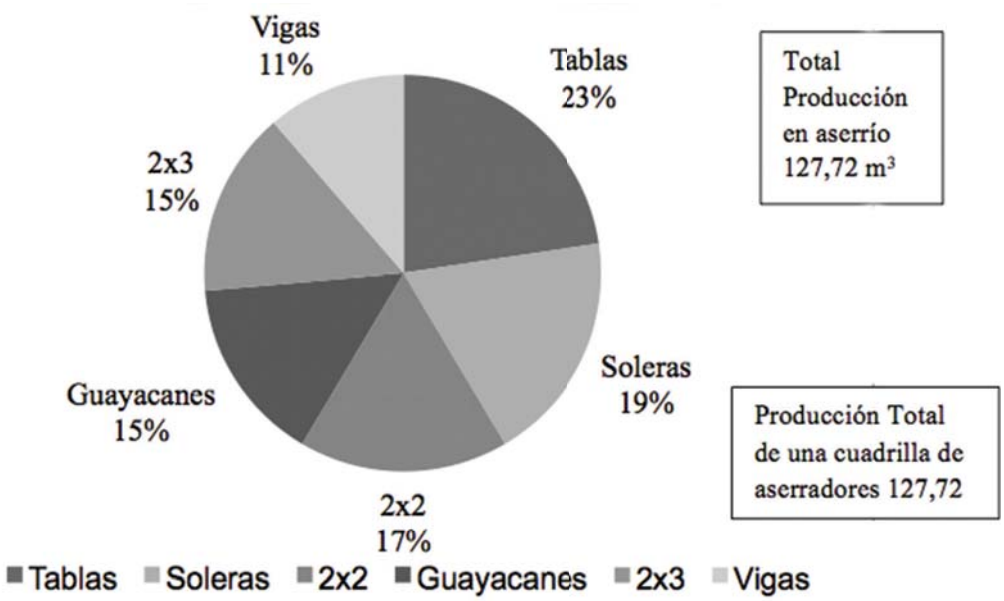


**Figura 3.** Producción en los centros de acopio locales (aserríos)

***Proceso de comercialización de los productos forestales extraídos del bosque.***

El proceso de comercialización de los productos forestales en el área de estudio es muy irregular, dado a que, la extracción de madera solo se realiza cuando es solicitada (depende de la demanda del mercado), queriendo decir con esto, que no existe una producción constante durante todo el año, por lo que los aserradores alternan las actividades de tala con otras actividades como la minería. La comercialización de los productos forestales extraídos del bosque se realiza de dos formas: 1) la adelantada con la intervención de intermediarios (los cuales muchas veces son los que contratan la cuadrilla de aserradores), quienes comercializan los productos dentro y fuera del departamento y 2) mediante el acuerdo entre el aserrador – el dueño del predio y/o de los árboles y el ebanista o dueño de aserradero, en este caso el dueño del aserradero compra la madera en pie al dueño del predio y contrata a un aserrador, quien apea el árbol, lo desrama y lo trocea de acuerdo a las peticiones del solicitante del material maderable (el transporte se acuerda entre aserrador y solicitante).

***Residuos generados de las actividades de aprovechamiento maderero.***

Los fustes huecos y torcidos, los que no tienen las dimensiones para ser aprovechados, los árboles que se astillan en la caída, las cantoneras o costeras, las ramas y el aserrín resultante del proceso de aprovechamiento quedan al interior del bosque (no se le da ninguna utilidad), a excepción de algunos lugares en donde se utilizan como puente las cantoneras para cruzar los cursos de agua que se encuentran sobre la red de caminos del bosque y como leña para la cocción de alimentos. La utilidad del aserrín generado en las operaciones de tala depende mucho del lugar donde se realice el aprovechamiento, por ejemplo en los municipios de Atrato y Cértegui el aserrín que queda después del aprovechamiento no es utilizado por la comunidad, porque esto aumentaría los costos de aprovechamiento; por su parte, en los municipios de Istmina y Medio San Juan este aserrín es reutilizable, debiéndose esto, a la cercanía de las casas al bosque, facilitando un poco el transporte de este material que es utilizado en varios caseríos de la cuenca del San Juan como cama de galpones para la cría de pollos y como abono para los cultivos agrícolas (Tabla 4).

***Tabla 4.*** *Utilidad de los residuos generados en las labores de aprovechamiento*

| Material Generado (Residuos) | Uso y/o Disposición Final |
|---|---|
| Fustes Huecos | No se utilizan. Quedan al interior del bosque |
| Fustes Torcidos | Parte de estos se utilizan como leña para cocción de alimentos (dependiendo la especie y de la cercanía del lugar donde se adelanta el aprovechamiento) |
| Árboles sin dimensiones | No se utilizan. Quedan al interior del bosque |
| Árboles astillados en la caída | No se utilizan. Quedan al interior del bosque |
| Cantoneras o costeras | En algunas comunidades se utilizan como puentes para cruzar los cursos de aguas presentes en el bosque |
| Ramas resultantes del proceso de Aprovechamiento | En lugares lejanos a los centros poblados se dejan al interior del bosque; mientras que si el aprovechamiento se realiza cerca de los centros poblados estas rama se utilizan como leña para la cocción de alimentos |
| Aserrín | En lugares lejanos a los centros poblados se dejan al interior del bosque; mientras que si el aprovechamiento se realiza cerca de los centros poblados este material se utiliza como sustrato para la propagación de hongos y de especies vegetales |

***Conservación de los productos obtenidos del bosque.***

Para la conservación de las tablas se utilizan productos como Furadan, ACPM y aceite quemado, los cuales se aplican una vez seca la madera utilizando brochas (esto se realiza en horas de la mañana). A las trozas, bloques, listones y soleras no se le aplican ninguna clase de conservación.

***Costos del aprovechamiento forestal***

Para el análisis costo – beneficio del aprovechamiento forestal, se contó con información suministrada por personas que realizan actividades productivas en los bosques del área de influencia del trabajo. En ese sentido se consideró que a lo largo de una semana un aserrador con un ayudante y un polinero pueden aprovechar 1 ha de bosque (en promedio 15 árboles de alto valor comercial y con D.A.P ≥ 40cm); para lo que se requieren alrededor de $ 560.000 semanales, equivalentes a $ 2´820.500 mensuales, sin desconocer que este valor varía de acuerdo con la distancia en la que se encuentra el sitio donde se realiza el aprovechamiento maderero (Tabla 5).

***Tabla 5.*** *Costos de las actividades de aprovechamiento forestal en los municipios de estudio*

| Grupo encuestado | Actividades | Semanas | Costo ($)/ Semana | Gastos totales ($)/ semana | Costo ($)/ mes | Gastos totales ($)/mes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Aserrador | 1 | 260.000 | | 1.040.000 | |
| | Ayudante | 1 | 120.000 | | 480.000 | |
| 1 | Polinero | 1 | 120.000 | 560.000 | 480.000 | 2.540.000 |
| | Transporte | 1 | 60.000 | | 240.000 | |
| | Permiso | | | | 300.000 | |
| | Aserrador | 1 | 250.000 | | 1.000.000 | |
| | Ayudante | 1 | 120.000 | | 480.000 | |
| 2 | Polinero* | 1 | 120.000 | 540.000 | 480.000 | 2.400.000 |
| | Transporte ** | 1 | 50.000 | | 200.000 | |
| | Permiso | | | | 240.000 | |
| | Aserrador | 1 | 300.000 | | 1.200.000 | |
| | Ayudante | 1 | 180.000 | | 720.000 | |
| 3 | Polinero | 1 | 180.000 | 660.000 | 720.000 | 3.250.000 |
| | Transporte | 1 | | | 310.000 | |
| | Permiso | | | | 300.000 | |
| | Aserrador | 1 | 200.000 | | 800.000 | |
| | Ayudante | 1 | 110.000 | | 440.000 | |
| 4 | Polinero | 1 | 110.000 | 480.000 | 440.000 | 2.140.000 |
| | Transporte | 1 | 60.000 | | 240.000 | |
| | Permiso | | | | 220.000 | |
| Alimentación *** | | | | | | |
| Promedio | | | | $ 560.000 | | $ 2.582.500 |

* Este costo incluye transporte de los productos de las actividades de aprovechamiento maderero
**Los gastos de transporte incluyen solo pasaje y transporte de materiales e insumos ida y vuelta
*** La alimentación corre por cuenta del personal encargado de las labores del aprovechamiento

***Beneficio del aprovechamiento forestal***

Cada cuadrilla cuenta con la capacidad de aprovechar alrededor de 15 árboles semanales, queriendo decir con esto, que el personal especificado en la Tabla 5, puede aprovechar 1ha semana$^{-1}$. De estos 15 árboles se obtienen en campo aproximadamente 60 trozas semanales. Este material se vende por pulgadas ($ 3.400 en promedio), para

un valor de $ 54.400 por troza, asumiéndose con esto que en una semana de aprovechamiento se obtienen en promedio $ 3.264.000, equivalente a $ 13.056.000 mensuales (Tabla 6). Se debe aclarar que cuando el bosque ha sido poco intervenido y el número de personas encargadas de las labores es mayor se pueden aprovechar aproximadamente 24 árboles de importancia económica en una ha. Al interior de los aserríos se obtienen guayacanes, 2x2, 2x3, vigas, soleras y tablas variando su pecio entre $ 72.000 y $ 312.000 (la docena). Es bueno precisar que los aserradores encuestados extraen tablas para venderlas a los pobladores de las comunidades locales para la construcción de viviendas, pero esto no es constante (Tabla 6).

***Tabla 6.*** *Valor de los productos obtenidos en en el primer y segundo grado de transformación de los árboles, en el área de estudio*

| Transformación | Valor unidad ($) | Valor docena ($) | Observaciones | Cantidad | | | Ingresos ($) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Por Árbol | Semanal | Mensual | Semanal | Mensual |
| Trozas * | $ 54.400 | $ 652.800 | Obtenido por aserradores | 4 | 60 | 240 | $ 3.264.000 | $ 13.056.000 |
| Bloques * | $ 32.000 | $ 384.000 | Obtenido por aserradores | 8 | 120 | 480 | $ 3.840.000 | $ 15.360.000 |
| Guayacanes * | $ 26.000 | $ 312.000 | Obtenido en el aserrío | | | | | |
| 2x2 * | $ 6.000 | $ 72.000 | Obtenido en el aserrío | | | | | |
| 2x3 * | $ 9.000 | $ 108.000 | Obtenido en el aserrío | | | | | |
| Soleras * | $ 19.000 | $ 156.000 | Obtenido en el aserrío | | | | | |
| Vigas * | $ 19.000 | $ 216.000 | Obtenido en el aserrío | | | | | |
| Tablas * | $ 9.000 | $ 108.000 | Obtenido en el aserrío | | | | | |

* Datos promedios; su valor puede aumentar o disminuir de acuerdo con la calidad de la madera

***Relación Costo - Beneficio (R/B/C).***

De acuerdo con los datos de campo se obtuvo una Relación Costo/Beneficio de 6, para las actividades del aprovechamiento maderero realizadas semanal y mensualmente en los municipios de Atrato, Cértegui, Istmina y Medio San Juan, lo que significa que por cada peso que se invierte en esta actividad se obtienen 6 pesos a cambio, indicando esto, que esta actividad económica es rentable.

## Discusión

***Especies maderables más aprovechadas de los cuatro municipios en estudio.***

Las especies reportadas como más aprovechadas el *B. utile* y el *H. oblongifolia*, se encuentran en el listado de especies más aprovechadas en la sub región del Atrato, Chocó (IDEAM, 2009, Bonilla, Cuesta-Córdoba & Valois-Cuesta*.,* 2011,

Moreno *et al.,* 2013); lo que muestra por un lado, la amplia dispersión de las especies en el territorio chocoano, pero al mismo tiempo, preocupa porque al aumentar el número de aprovechamiento sobre estos ecosistemas se reduciría la posibilidad de encontrarla en este territorio (Ramírez & Ledezma, 2007).

**Características del aprovechamiento forestal en el área de estudio**.

El aprovechamiento maderero en bosques de la selva chocoana (especialmente el de los cuatro municipios estudiados), involucra varios aspectos a tener en cuenta. Entre estos se pueden citar la extracción ilegal de material maderable de los bosques (cada 1 de 3 $m^3$ de madera se extrae de forma ilegal) (Ramírez & Ledezma, 2007); la ubicación de los bosques (difícil acceso al área de aprovechamiento), que de cierta manera condicionan la realización de las actividades de apeo, desrame, descortezado, troceo y transporte del material maderable; el proceso de aprovechamiento se realiza de forma convencional, utilizando motosierra y hacha; el material aserrado es transportado a hombro o por tracción animal, siendo estas características similares a las reportadas por Bonilla *et al.,* (2011), en bosques de San Isidro, municipio de Atrato.

Los aserradores son los encargados del primer eslabón de la cadena de aprovechamiento forestal, la cual consiste en la realización de las actividades de apeo, descope, desrame, descortezado, troceo y transporte de la madera hasta la orilla del camino o vía principal. Referente a esto el IDEAM (2009), expresa que el ingreso económico obtenido por la realización de las actividades descritas con anterioridad es demasiado bajo, obteniéndose un 10% de todo el proceso de aprovechamiento. El mismo autor atribuye esto al hecho de que los aserradores acuerdan el precio de la madera con los intermediarios y dueños de la madera, los cuales, se quedan con gran parte de las ganancias del proceso de aprovechamiento.

***Transformación y Uso.***

Localmente se realizan dos eslabones de la cadena de aprovechamiento, el primero que es efectuado por los aserradores (obteniendo trozas, bloques y tablas) y el segundo adelantado por los propietarios de aserraderos o ebanistas que trabajan con productos primarios extraídos del bosque, obteniendo muebles, camas, armarios, nocheros de madera fina para la venta local específicamente, al respecto el IDEAM (2009), sugiere que para hacer del aprovechamiento un motor de desarrollo de departamentos como el Chocó, se debe incluir a nivel local al menos un eslabón más al sistema de aprovechamiento maderero, siendo éste la transformación final (comerciante mayorista), el cual dispone de establecimientos comerciales en los cuales se venden machimbre, molduras, guarda escobas y productos acabados como muebles, tableros y contrachapados.

***Producción por aprovechamiento y forma de comercialización de lo producido.***

En las actividades de aprovechamiento forestal realizadas en el área de estudio una cuadrilla de aserradores obtiene 1,72 $m^3\ h^{-1}$; este valor es menor al reportado por Turc & Mazzuco (1998) en bosques santiagueños de Argentina (2,50 $m^3\ h^{-1}$), estas diferencias se deben en gran medida a la presentación final de los productos que se extraen del bosque, por ejemplo en lo de Santiago, Argentina se obtienen madera rolliza, mientras que en el área de estudio se extraen trozas, bloques, listones, solera, 2x2, 2x3, guayacanes y tablas principalmente, lo que genera mayores porcentajes de desperdicios al pasar de una transformación a otra (Medina *et al.,* 2007; Moreno *et al.,* 2013).

***Residuos generados de las actividades de aprovechamiento maderero.***

Otra de las características del aprovechamiento maderero en el área de estudio es sin duda, la generación de desperdicio o residuos. Entre estos, sobresale el aserrín, el cual es utilizado en la producción de biogás y como sustrato orgánico para la propagación de hongos y especies vegetales (Mosquera, Escobar & Moreno, 2011; Aguilar, Martínez & Ríos, 2009; Martínez, Medina & Ríos, 2010). En lo referente al uso, el aserrín es el material que

se reutiliza, especialmente, en los municipios de Istmina y Medio San Juan, aclarando que parte de este material que no alcanza a ser utilizado se deposita en los cursos de agua, información que es similar a la reportada por Moreno *et al.* (2013), en el municipio de Quibdó, por lo que este mismo autor sugiere ampliar el uso que se le da a este material en la cadena de aprovechamiento maderero.

Krueger (2003) y Medina *et al.* (2007), atribuyen los elevados valores de desperdicios en las actividades de aprovechamiento a la destreza de los aserradores a la hora de realizar los cortes (astillamiento de los árboles al momento de la caída y dimensiones insuficientes de diámetro y altura a la hora de realizar el corte). De acuerdo con Medina *et al.* (2007), las labores en el bosque llegan a generar desperdicios superiores al 80%, tomando como referencia el volumen total del árbol en pie. Estos autores, expresan que el porcentaje de desperdicio en las labores de aprovechamiento maderero tiende a aumentar con el grado de transformación, obteniéndose valores de 39,96% para el volumen comercial, 70, 76% para las trozas, 86,41% para los bloques y 91,34% para el material procesado. Del mismo modo, Moreno *et al,* (2013), exponen un porcentaje de desperdicio de 45% en los aserraderos. Estos desperdicios son producto de la deficiencia de formas de los árboles (bifurcaciones), las dimensiones insuficientes y el astillamiento de árboles al momento de la caída (Amaral *et al.,* 2000; Krueger, 2003; Medina *et al.,* 2007).

Según el número de personas encuestadas en esta investigación y teniendo en cuenta las especies registradas para los cuatro municipios, se demuestra que existe un buen nivel de conocimiento de las especies de esta zona del territorio chocoano y la utilidad que se le da a estas mismas, pero estudios donde se evidencien estas temáticas son escasos y más aquello donde se enmarca la transformación y el transporte local de los productos obtenidos del material extraído del bosque, por lo que es necesario adelantar investigaciones, las cuales posibiliten el conocimiento y aprovechamiento integral de estos recursos forestales.

## Conclusiones

En cuanto al potencial existente de los productos forestales maderables (PFM), de acuerdo con esta investigación y experiencias locales, se aprecia que las especies forestales maderables juegan un papel importante en la subsistencia de las comunidades asentadas en los municipios de Atrato, Cértegui, Istmina y Medio San Juan, lo cual se puede observar a lo largo de la cadena de transformación, uso y comercialización de dichos productos, los cuales de forma directa e indirecta generan empleos ocasionales a los habitantes de esta región, por lo que las autoridades gubernamentales se deben enfocar al fortalecimiento de estas actividades y de aquellas especies que se encuentran bajo aprovechamiento comercial no planificado, para que de esta manera se aporte a la sostenibilidad de esta actividad económica.

El aprovechamiento maderero en los municipios estudiados se realiza de forma selectiva, utilizándose como principal herramienta de apeo la motosierra, con la que se adelanta el primer eslabón de la cadena de aprovechamiento (apeo, descope, desrame, descortezado y troceo), en el cual se obtienen productos como trozas, bloques, listones, vigas y tablas. El transporte de este material es realizado a hombro o con tracción animal.

Los ebanistas o dueños de aserríos de la región son los encargados de realizar el segundo grado de transformación al material extraído del bosque, obteniendo sillas, muebles, armarios, cama, entre otros productos. También en la mayoría de los caso, éstos se encargan de la contratación de la cuadrilla de aserradores (hacen las veces de intermediarios).

Los principales usos que se le dan al material forestal maderable extraído del área de estudio son el de construcción y el medicinal. Adicional a esto, a nivel interno de las comunidades se utilizan algunas de las especies reportadas en este estudio para la construcción artesanal de canoas, bateas y pilones para el trillado tradicional del arroz.

La conservación de los productos extraídos del bosque se realiza utilizando, ACPM, aceite quemado y *Furadan*, sin desconocer que en las comunidades rurales de estos municipios se tiene entendido que la mejor forma de conservar la madera es dejándola secar al aire libre, ya que muchos no utilizan productos para la conservación y preservación de la madera.

En promedio en el área de estudio se aprovechan 15 árboles $ha^{-1}$ semanalmente, de los cuales se obtienen alrededor de 60 trozas y 120 bloques.

El aprovechamiento maderero realizado en los municipios de Atrato, Cértegui, Istmina y Medio San Juan es rentable, dado a que por cada peso que se invierte, a cambio se obtienen entre 6 y 7 pesos.

## Literatura citada


1. Aguilar, Y. E., Martínez, M. G. & Ríos, H. A. (2010). Aprovechamiento de residuos sólidos en algunos municipios del departamento del Chocó. Reunión Nacional ACOFI 2010. El compromiso de las facultades de Ingeniería en la formación, para el desarrollo regional. Septiembre 15 al 17. Santa Marta. 102 p.
2. Amaral, P., Verissimo, A., Barreto, P., Vidal, E., Holdsworth, A., Uhl, C., Isller, F., Zweede, J. & Buschbacher, R. (2000). Bosques para siempre: Manual para la producción de madera en la Amazonía. Cali, Colombia. 161 p.
3. Arias, J. (2007). Oferta de productos forestales maderables y no maderables con potencial económico en un bosque de tierra firme de la Amazonia colombiana. Bogotá. D.C. Colombia. Recuperado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/3384/25/9789587018547_Parte11.pdf
4. Benz, F.; Cevallos, J.; Santana, F.; Rosales, J. & Graff, M. (2000). La pérdida del conocimiento sobre el uso de plantas en la sierra de la reserva de Biosfera de Manatlàn, México. Recuperado de: http://people.brandeis.edu/orgodoy/www.northwestern.edu/andthropology/LHBR/Bolivia.html
5. Bonilla, L. N., Cuesta-Córdoba, H. & Valois-Cuesta, H. (2011). Efectos de la extracción forestal sobre la estructura y composición de un bosque pluvial del Pacífico colombiano. *Rev. Biodiversidad Neotropical. 1 (1):* 48-54.
6. Cardona, A. (2006). Caracterización de los productos naturales no maderables en el municipio de lloró (chocó), Colombia. Centro de investigaciones y estudios en biodiversidad y recursos genéticos (CIEBREG). Recuperado de: http://es.scribd.com/doc/57944847/Investigaciones-de-Productos-Forest-Ales-No-Maderables-PFNM-Registrados-en-La-Base-de-Datos-Del-Humboldt.
7. Cogollo, A. M. & García, C. F. (2012). Caracterización etnobotánica de los productos forestales no maderables (PFNM) en el corregimiento de Doña Josefa, Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical. 2 (2)*: 102-112.
8. Córdoba, T. L. & García, C. F. (2011). Inventario Etnobotánico de especies Frutales Silvestres Comestibles en el municipio de Lloró, Chocó, Colombia. *Revista Investigación, Biodiversidad y Desarrollo. 30 (1):* 23-31.
9. Challenger, A. & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 87-108. Recuperado de: http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I03_Losecosistemast.pdf
10. Gómez, M. & Quirós, D. (2001). Análisis financiero del manejo de bosques. p 229 – 263. En: Louman, B.; Quirós, D. & Nilson, M. (eds.). 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba, C. R. 265 p.
11. González, D. V. (2003). Los productos Naturales no maderables (PNNM): Estado del arte de la investigación y otros aspectos. Biocomercio sostenible, Instituto de Investigaciones de recursos Biológicos "Alexander Von Humboldt". Bogotá Colombia. Recuperado de: http://cdam.minam.gob.pe/publielectro/biocomercio/productosnaturalesnomaderables.pdf.
12. Guariguata, M. R., Fernandez, C. G., Nasi, R., Sheil, D., Jauregui, C. H., Cronkleton, P., Ndoye, O. & Ingram, V. (2009). Hacia un manejo múltiple en bosques tropicales: Consideraciones sobre la compatibilidad del manejo de madera y productos forestales no maderables. CIFOR, Bogor, Indonesia. Recuperado de http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BGuariguata0901.pdf
13. Holdridge, L. R. (2000). Ecología basada en Zonas de vida. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 143 p.
14. IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2009). Diseño y puesta en marcha del instrumento de captura de datos (subregistro) e información generada por actividades informales en los procesos de extracción, transformación y comercio de productos forestales. Bogotá D.C. 183 pg.
15. Katewa, S., Chaudhary, B. & Jain, A. (2004). Bases populares de plantas medicinales de la zona Tribal de Rajastan, India. *Ethnopharmacology. 92*: 41-46.
16. Klínger, B.W., Ramírez, M. G. & Guerra, G. J. (eds.). (2011). Aportes al conocimiento de los ecosistemas estratégicos y las especies de interés especial del Chocó Biogeográfico parte I. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacifico (IIAP). Santiago de Cali, Colombia. 158 p.
17. Krueger, W. (2003). Efecto del marcado de árboles de futura cosecha y la planificación de pistas de arrastres en el aprovechamiento convencional con limites diamétricos en un bosque tropical de Bolivia. Proyecto de manejo forestal sostenible BOLFOR. Documento Técnico 119/2003; 1-26. Recuperado de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacw377.pdf

**18.** López, C. R.; Navarro J. A.; Montero M. I.; Amaya-Vecht, K.; Rodríguez-Castañeda, M. & Polanía-Barbosa, A. (2007). Algunas especies no maderables del corregimiento de Tarapacá (Amazonas), Colombia. Instituto amazónico de investigaciones científicas (SINCHI). Recuperado de: http://es.scribd.com/doc/57944847/Investigaciones-de-Productos-Forest-Ales-No-Maderables-PFNM-Registrados-en-La-Base-de-Datos-Del-Humboldt

**19.** Marín, C. C., Cárdenas-López, D. & Suárez-Suárez, S. (2005). Utilidad del valor de uso en etnobotánica: estudio en el departamento de Putumayo (Colombia). *Caldasia 27(1)*:89-101. Recuperado de: http://search.proquest.com/docview/1677413823/fulltextPDF/51F4CAD3CF5A461BPQ/1?accountid=37386

**20.** Martínez, G. M., Medina, H. H. & Ríos, H. A. (2010). Aprovechamiento de residuos sólidos: Avances en investigaciones realizadas en la Universidad Tecnológica del Chocó. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo. 29 (2):* 177-185.

**21.** Medina, H. H., Martínez, G. M., Barrios, M. F. & Bonilla, J. A. 2007. Determinación del porcentaje de desperdicio en las labores de Aprovechamiento forestal en un bosque pluvial tropical en el municipio de Medio San Juan, Chocó, Colombia. *NOVA – Publicación científica en Ciencias Biomédicas. 5 (8):* 101-112. Recuperado de: http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/nova8_artorig5.pdf

**22.** Moreno, Y. E., Medina, H. H., Martínez, G. M. & Ruiz, B. A. (2013). Procesos productivos en los centros de acopio (Aserríos) del municipio de Quibdó, Chocó. p 85. En: Memorias del IV Seminario Internacional de Agroforestería "Desde el Chocó Biogeográfico para el Mundo". Universidad Tecnológica del Chocó. Quibdó, Chocó, Colombia. 17 – 20 de septiembre.

**23.** Mosquera, A. D., Escobar, D. R. & Moreno, A. M. (2011). Estructura y función de los huertos caseros de las comunidades afrodescendientes asentadas en la cuenca del río Atrato departamento del Chocó, Colombia. *Biodiversidad Neotropical. 1 (2):* 91-97.

**24.** Ramírez, A. & Díaz, B. (2003). Acercamiento a la identificación de los principales productos forestales no maderables (PFNM) usados en el departamento de Cundinamarca. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Recuperado de: http://es.scribd.com/doc/57944847/Investigaciones-de-Productos-Forest-Ales-No-Maderables-PFNM-Registrados-en-La-Base-de-Datos-Del-Humboldt

**25.** Ramírez, M. G. & Ledezma-Rentería, E. (2007). Efecto de las actividades Socioeconómicas (Minería y explotación madrera) sobre los bosques del departamento del Chocó. *Revista Institucional de la Universidad Tecnológica del Chocó. (26)*: 58-65.

**26.** Torres, J. J.; Arboleda, L. E.; Medina, H. H. (2013). Caracterización de la cadena de transformación, uso y comercialización de productos forestales maderables en cuatro municipios del departamento del Chocó, Colombia. p 42. En: Memorias del IV Seminario Internacional de Agroforestería "Desde el Chocó Biogeográfico para el Mundo". Universidad Tecnológica del Chocó. Quibdó, Chocó, Colombia. 17 – 20 de septiembre.

**27.** Turc, C. O. & Mazzucco R. V. (1998). Caracterización de los sistemas de aprovechamiento forestal utilizados en los montes santiagueños. *Quebracho. (6):* 59 – 68.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 09 de marzo de 2015
Aceptado: 28 de abril de 2015

# Asociaciones de poliquetos de fondos blandos en la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano

## Associations of polychaetes of soft bottoms in the bay of Buenaventura, Colombian Pacific

### *Fundo macio poliquetas na baía de Buenaventura, na costa do Pacífico da Colômbia*

**Juan Guillermo Popayán-Hernández**

Ingeniero Ambiental, Magister en Ingeniería Ambiental con énfasis en investigación.
Docente de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Regional Huila. CERES Garzón.

jgpopayanh@unal.edu.co

**Resumen**

En esta investigación se realizó la caracterización espacial de las asociaciones de poliquetos en la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano, con el propósito de evaluar su calidad ambiental. Se eligieron los poliquetos, debido a que comprenden aproximadamente el 90% del bentos tanto en número como en biomasa y también porque responden rápidamente al estrés causado de forma antropogénica y natural. Para ello se empleó un índice biótico marino (AMBI, por sus siglas en ingles). Se muestrearon siete estaciones distribuidas a los largo de la bahía, y se tomaron muestras de la columna de agua y de sedimento. Se determinó la abundancia y distribución de poliquetos, se calculó el AMBI para cada estación y a partir de ello se realizaron pruebas de significancia estadística y correlación para explicar los patrones de distribución de los organismos. Finalmente, mediante el AMBI se determinó el estado de la calidad ecológica de la bahía de Buenaventura. Se concluye que la alta densidad de Aricidea simplex, no es debida únicamente al enriquecimiento de materia orgánica, sino a que en el momento de muestreo se encontraba en la etapa de reproducción.

**Palabras clave:** calidad ecológica, poliquetos, índice biótico.

**Abstract**

In this research spatial characterization of polychaetes was carried out in the bay of Buenaventura, located in the pacific coast of Colombia, with the purpose of assessing their environmental quality. Polychaetes, were chosen because they correspond to the 90% of the benthos both in number as in biomass and in quantity of biomass and also because they respond rapidly to natural and anthropogenic stress. In order to measure this variable, a marine biotic index was used (AMBI). Samples of water column and sediment were taken in seven stations distributed along the bay. The abundance and distribution of polychaete were determined, the AMBI calculated for each station and from it tests of statistical significance was calculated and correlation and statistical significance tests performed to explain the patterns of distribution of organisms. Finally, the state of the ecological quality of the bay of Buenaventura was determined using the AMBI INDEX. It was concluded that the high density of Aricidea simplex, is not due only to the enrichment of organic matter, but that in the time the sampling was done, polychaetes were in the stage of reproduction.

**Key-words:** ecological quality, polychaete , biotic index.

## Resumo

Nesta pesquisa realizou-se a caracterização espacial de associações de poliquetos na Bahia de Buenaventura (Pacífico colombiano), a fim de avaliar a sua qualidade ambiental. Os Poliquetos foram escolhidos por representarem cerca de 90% dos bentos tanto em número quanto em biomassa e também porque eles respondem rapidamente ao stresse causado pela forma antropogênica e natural. Para tanto se utilizou um índice biótico marino (AMBI, por sua sigla em Inglês). Amostraram-se sete estações distribuídas ao longo da Bahia e se tomaram amostras da coluna de água e do sedimento. Foi determinada a abundância e distribuição de poliquetos, sendo que também se determinou o AMBI para cada estação. A partir disso, testes de significância estatística e correlação foram realizados para explicar os padrões de distribuição dos organismos. Finalmente, por meio de AMBI foi determinado o estado da qualidade ecológica da Bahia de Buenaventura. Concluiu-se que a alta densidade de Aricidea simplex não é devido apenas ao enriquecimento de materia orgânica, mas que no momento da amostragem encontrava-se na etapa reprodutiva.


**Palavras-chave:** qualidade, poliquetas, índice biótico ecológica

## Introducción

La distribución de los organismos bentónicos varía en el tiempo y en el espacio debido a la heterogeneidad del hábitat. Así, estudios realizados en zonas templadas, muestran como la distribución y la abundancia de los organismos bentónicos se ve fuertemente afectada por la variación espacial en las propiedades de la columna de agua y en el sedimento (Guzmán-Alvis, Lattig & Ruíz, 2006).

Las comunidades bentónicas se hallan numérica y estructuralmente asociadas a la disponibilidad de recursos, los cuales son modificados por las interacciones con los factores ambientales. El movimiento de las mareas, el viento, la descarga de agua dulce aportadas por los ríos, son factores que modifican constantemente las características de la columna de agua y el sedimento. Dichas características del sedimento son decisivas en la distribución de la fauna béntica (Pearson & Rosenberg, 1987). Por tanto, la distribución espacial de las especies puede ser una respuesta a la variación de las propiedades físicas y químicas de la columna de agua y el sedimento.

El carácter sésil de las comunidades bentónicas, su capacidad para soportar perturbaciones ambientales (Salazar-Vallejo, 1991), hace que dichas comunidades sean útiles para evaluar las modificaciones en el ecosistema debido a influencias exógenas. En la presente investigación se eligieron los poliquetos, debido a que comprenden aproximadamente el 90% del bentos tanto en número como en biomasa (Calderón-Aguilera, 1992), y también porque responden rápidamente al estrés causado de forma antropogénica y natural. (Bustos-Baez & Fried, 2003). Así, los poliquetos son considerados buenos indicadores debido a que tienen periodos de vida relativamente largos e incluyen una diversidad de especies sensibles y tolerantes a las perturbaciones del medio, causadas principalmente por el enriquecimiento de materia orgánica. (Dauvin, Ruelleta, Desroya & Janson, 2007). Por tanto, se esperaría que la variabilidad estructural de las asociaciones de poliquetos sea debida a la heterogeneidad del hábitat en cuanto a la variación en las propiedades físicas y químicas del mismo.

Con el propósito de determinar la estructura del ecosistema así como también determinar el estatus ecológico de un estuario, se desarrolló en Europa un índice biótico marino AMBI (por sus

siglas en ingles), basado en la proporción de especies asignadas a uno de los cinco niveles de sensibilidad al incremento de perturbación por materia orgánica, el cual varía desde especies muy sensitivas hasta especies oportunistas que se ven favorecidas por el enriquecimiento por materia orgánica (Borja, Franco & Perez, 2000). Este índice ha sido aplicado en Europa (Dauvin, Ruelleta, Desroya & Janson, 2007), en Asia (Cai *et al.,* 2003), en África del Norte (Bazari, Bayed & Hily, 2005), y en América del Sur (Muniz *et al.,* 2005).

## Materiales y métodos

### *Área de estudio*

La bahía de Buenaventura está localizada en la costa Pacífica de Colombia, a 3º54´ N y 77º05´W. Es un estuario poco profundo con un área de 70 km$^2$, con un canal central de 16 km, un ancho promedio de 4 km y una profundidad media de 10 m (Lucero, Cantera & Romero, 2006).

Se dispusieron siete estaciones de muestreo ubicadas tal como se aprecia en la Figura 1.

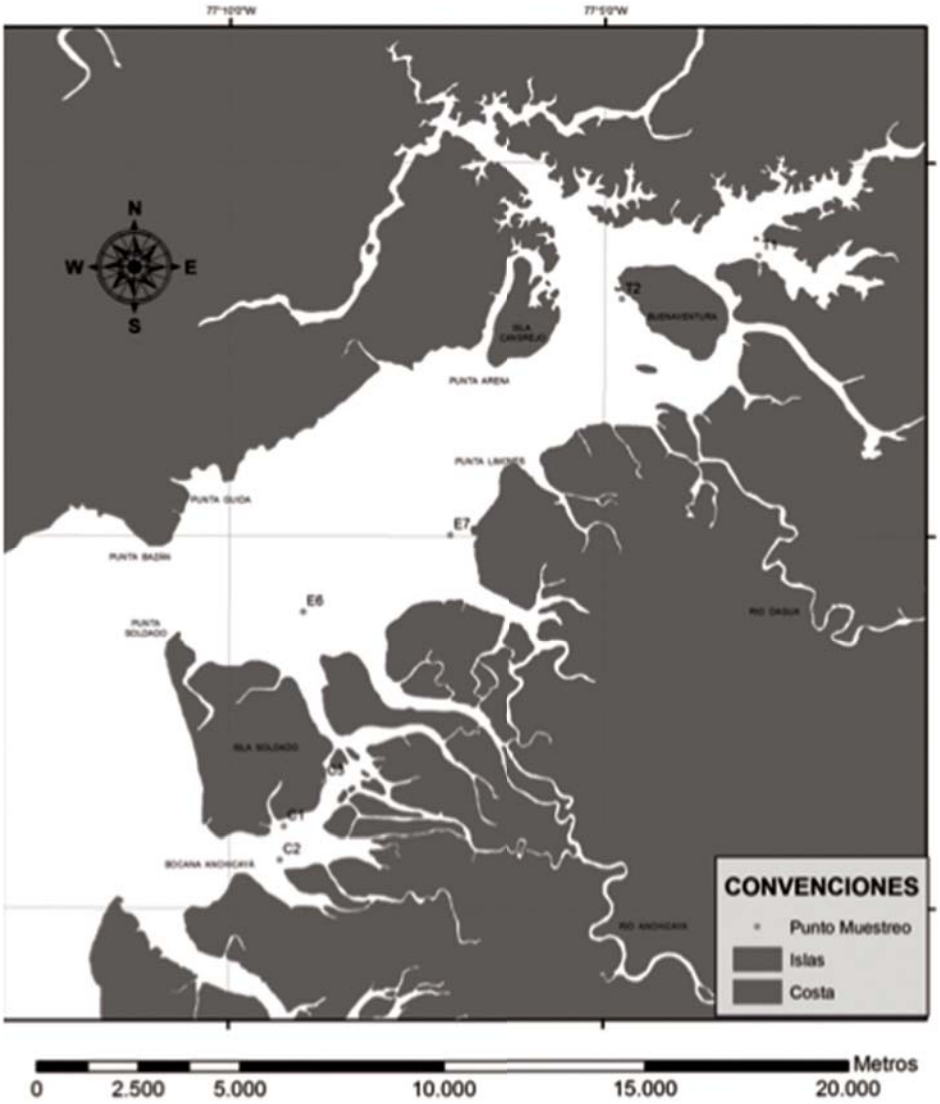


**Figura 1.** Ubicación de los puntos de muestreo

Las estaciones C1, C2 y C3, denominadas "estaciones control" son aquellas donde se presume una menor intervención antrópica. Dichas estaciones fueron ubicadas en cercanías a Punta Soldado, sitio caracterizado por franjas de manglares, donde las especies más comunes son *Rhizohora mangle* y *Avicennia germinans* (Peña-Salamanca, 2008).

Las estaciones E6 y E7 se ubicaron en la parte interior de la bahía, donde predominan las especies *Laguncularia racemosa* y *Mora oleifera.* (Peña-Salamanca, 2008).

Las estaciones T1 y T2, denominadas "estaciones problema" por estar en una zona considerada de alta influencia antrópica debido a su cercanía a la ciudad de Buenaventura, siendo la estación T2 ubicada frente a la tubería de descarga de aguas residuales de la ciudad de Buenaventura La ubicación de las estaciones se hizo mediante un GPS Garmin (Tabla 1).

***Tabla 1.*** *Ubicación de los puntos de muestreo y su profundidad*

| Estación | Profundidad (m) | Latitud N | Longitud W |
|---|---|---|---|
| T2 | 1,8 | 3°53´13,32" | 77° 4´52,68" |
| T1 | 4 | 3°53´45,12" | 77°21´56,7" |
| C3 | 2,6 | 3°46´41,1" | 77°8´43,98" |
| C2 | 3,7 | 3°45´38,55" | 77°9´18,58" |
| C1 | 1,2 | 3°46´4,32" | 77°9´15,78" |
| E6 | 0,4 | 3°48´57,78" | 77°8´59,21" |
| E7 | 2,1 | 3°50´0,6" | 77°7´3,53" |

En cada estación se tomaron siete replicas para el análisis de la fauna béntica, y una réplica adicional para análisis fisicoquímicos. Estos últimos fueron enviados al laboratorio de Análisis Industrial de la Universidad del Valle, para la determinación de Fósforo Total Orgánico (PTa), Carbono Orgánico Total (COTa), Nitrógeno Orgánico (NOa), Nitritos (NO2a), Nitratos (NO3a), Nitrógeno amoniacal (NH4a), Sólidos Totales Disueltos (TDS), y porcentaje de Oxígeno Disuelto (%OD) en la columna de agua, y Fósforo Total Orgánico (PTs), Carbono Orgánico Total (COTs), Nitrógeno Orgánico (NOs), Nitritos (NO2s), Nitratos (NO3s), Nitrógeno amoniacal (NH4s), Contenido de Matera Orgánica (MO), y Contenido de Cieno (Cie) en el sedimento.

Las muestran fueron tomadas con una draga Van Veen (0.04 $m^2$). El sedimento fue tamizado a bordo a través de un tamiz de ojo de malla de 0.5mm. Una vez tamizadas, las muestras se rotularon y se conservaron en una solución de etanol al 98%.

Las variables abióticas tales como el Oxígeno Disuelto (mg L-1), Clorofila (mg $m^{-3}$), algas (cel $ml^{-1}$) y Temperatura Superficial (ºC) del mar, fueron determinadas en campo mediante una sonda multíparamétrica YSI 6600-V2, y la salinidad se estimó con una sonda Handlylab.

## Análisis de la información

### *Información biológica*

En el laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, las muestras fueron tamizadas, y los organismos retenidos se separaron de los otros grupos taxonómicos (crustáceos, moluscos y equinodermos) y se hizo la determinación cuantitativa de los organismos. La identificación se realizó al nivel taxonómico de especie con las guías de Hartman (1968), Salazar-Vallejo (1991) y luego se contabilizo el total de organismos.

Para el cálculo del AMBI, la clasificación de las especies identificadas dentro de las cinco categorías ecológicas, se realizó mediante la comparación con la lista proporcionada por AZTI para la ejecución del Software AMBI disponible en la página Web de AZTI; http://www.azti.es. El AMBI es definido como (Fórmula 1):

**AMBI=** 0EG (I) + 1.5 EG (II) + 3EG (III) + 4.5 EG (IV) + 6 EG (V) **(1)**

Estos EG (grupos ecológicos por sus siglas en inglés) son categorizados de acuerdo al nivel de sensibilidad al incremente en el gradiente de stress: EG (I): especies muy sensibles al enriquecimiento por materia orgánica, EG (II): especies indiferentes al enriquecimiento, EG (III): especies tolerantes al enriquecimiento por materia orgánica, EG (IV): especies oportunistas de segundo orden favorecidas por el enriquecimiento por materia orgánica y EG (V): especies oportunistas de primer orden favorecidas por el enriquecimiento orgánico.

Debido a que este Índice fue desarrollado para los estuarios de Europa, se encontraron especies que no están reportadas en la lista de AMBI, razón por la cual algunas de ellas fueron asignadas dentro de uno de los grupos ecológicos. Los resultados obtenidos de la aplicación del AMBI pueden variar entre 0 (*Alto estado ecológico*) y 7 (*Mal estado ecológico*) (Borja, Muxika & Franco., 2003).

Una vez las especies fueron asignadas a los grupos ecológicos, se procedió a expresar la abundancia relativa (%) de cada uno de los grupos ecológicos encontrados, y posteriormente se asociaron las estaciones con el coeficiente de similitud Bray-Curtis y posteriormente construir un nMDS con la sobreposición de los valores AMBI obtenidos en cada estación. Luego, con la matriz de composición y abundancia de especie de poliquetos, se procedió a transformar y asociar las estaciones mediante el coeficiente de similitud de Bray-Curtiss, para lo cual fue necesario transformar los datos (log(x+1)) usando los umbrales de la ley de Taylor.

A partir de la matriz de similitud se procedió a realizar un escalamiento multidimensional no paramétrico nMDS con el propósito de determinar la distribución de las estaciones en relación a la composición y abundancia de las mismas. Se calculó el porcentaje de similitud (SIMPER) para determinar las especies que más contribuyen la diferenciación entre los estatus ecológicos derivados de la aplicación del AMBI. Finalmente se realizó un análisis de componentes principales (PC´s) con el propósito de identificar las especies que más aportan a la varianza de la población de datos biológicos.

***Información Ambiental***

Los parámetros medidos en cada estación, tanto en la columna de agua como en el sedimento, fueron objeto de análisis. Dicha matriz de variables abióticas fue normalizada y posteriormente se ejecutó la prueba estadística BIOENV con el propósito de determinar las aquellas variables abióticas que tienen mayor injerencia en la distribución de las estaciones con relación a la abundancia y composición de los poliquetos. Los datos fueron correlacionados mediante el rango de Sperman y la significancia estadística de dicha correlación se estimó mediante la prueba de Mantel, con 999 iteraciones. Todas las pruebas estadísticas fueron procesadas mediante Primer v6.

## Resultados

Se encontraron 750 individuos distribuidos en 45 especies en 39 géneros y 25 familias. Para el cálculo del índice biótico marino, las siguientes especies fueron asignadas dentro de uno de los cinco grupos ecológicos AMBI: *Aglaophamus erectans* (II), *Aricidea allia* (I), *Armandia brevis* (I), *Costura candida* (IV), *Leitoscoloplos pugettensis* (IV), *Lumbrineris verilli* (II), *Marphysa disjuncta* (II), *Phyllodoce pettiboneae* (II), *Prionospio jubata* (IV), *Prionospio minuspio* (IV), *Scoloplos ameceps* (III), *Sternaspis maior* (III).

***Variables biológicas***

*Estación C1*

En la estación C1, se encontraron 51 organismos, y el valor obtenido del AMBI fue de 2,406, evidenciándose una mayor abundancia de especies pertenecientes al grupo ecológico II, con una

abundancia relativa del 58,3%, representado principalmente por la especie *Lumbrineris verilli* cuya abundancia relativa dentro de la estación fue del 41,20%. De acuerdo al AMBI, el estatus ecológico de la estación C1 es *ligeramente perturbado.*

*Estación C2*

En la estación C2 se encontraron 115 individuos con AMBI de 2,49, evidenciándose una mayor predominancia de especies pertenecientes al grupo ecológico II, con una abundancia relativa del 26,8%, representado principalmente por la especie *Aglaophamus erectans* con un 13,04% del total de organismos dentro de la estación y con una clasificación de *ligeramente perturbado* de acuerdo a la escala del AMBI.

*Estación C3*

En la estación C3 se encontraron 423 individuos cuyo valor obtenido del AMBI fue de 0,889 aproximado a 1, encontrándose una mayor abundancia de especies pertenecientes al grupo ecológico I, y una abundancia relativa del 66%, representado principalmente por la especie *Aricidea simplex* cuya abundancia relativa dentro de la estación fue del 60,1%. De acuerdo al AMBI, el estatus ecológico de la estación C3 es *no perturbado.*

*Estación T1.*

En la estación T1 se encontraron 42 individuos con un AMBI fue de 2,341, evidenciándose una mayor abundancia de especies pertenecientes al grupo ecológico II, con una abundancia relativa del 43,9%, representado principalmente por la especie *Lumbrineris verilli* siendo del 33,33%. De acuerdo al AMBI, el estatus ecológico de la estación T1 es *ligeramente perturbado.*

*Estación T2*

En la estación T2 se encontraron 45 individuos, con un AMBI de 3,529, evidenciándose una mayor abundancia de especies pertenecientes al grupo ecológico IV, con una abundancia relativa del 61,8%, representado principalmente por la especie *Heteromastus filiformis* cuya abundancia relativa dentro de la estación fue del 31,11%. De acuerdo al AMBI, el estatus ecológico de la estación T2 es *moderadamente perturbado.*

*Estación E6*

En la estación E6 se encontraron 20 individuos con un AMBI de 1,05, evidenciándose una mayor abundancia de especies pertenecientes al grupo ecológico I, con una abundancia relativa del 60%, representado principalmente por la especie *Armandia brevis* cuya abundancia relativa dentro de la estación fue del 50%. De acuerdo al AMBI, el estatus ecológico de la estación E6 *no perturbado.*

*Estación E7*

En la estación E7 se encontraron 11 individuos con AMBI de 2,182, evidenciándose una mayor abundancia de especies pertenecientes al grupo ecológico II, con una abundancia relativa del 63,6%, representado principalmente por la especie *Terebellis stroemi*. De acuerdo al AMBI, el estatus ecológico de la estación E6 *ligeramente perturbado.*

La relación entre la abundancia relativa de poliquetos y los valores del AMBI, se muestra en la Figura 2.

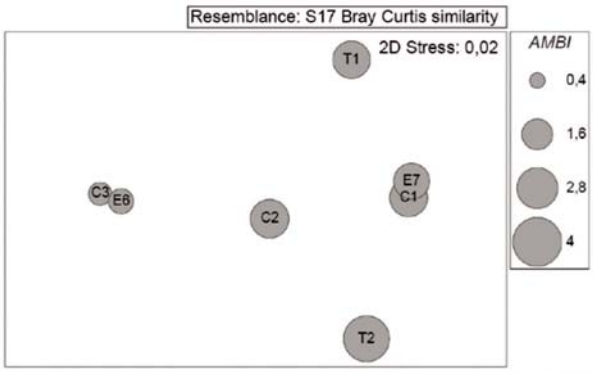


**Figura 2.** Sobreposición nMDS mostrando la relación entre la abundancia relativa de las especies de poliquetos y el AMBI

Se presentó un buen grado de agregación entre el AMBI y las estaciones. La proporción de cada grupo ecológico hace que se presente un gradiente en relación al estatus ecológico según el AMBI, el cual varía de izquierda a derecha.

***Naturaleza indicadora de las especies de poliquetos en la bahía de Buenaventura.***
De la aplicación del SIMPER, se determinó que las especies con carácter bioindicador son las que se muestran en la Tabla 2.

***Tabla 2.*** *Resultados SIMPER*

| Especie | Diss/ SD | Contrib % | Cum % |
|---|---|---|---|
| Aricidea simplex | 1,02 | 31,39 | 31,39 |
| Cossura candida | 1,15 | 2,05 | 75,36 |
| Lumbrineris verilli | 1,59 | 15,46 | 46,85 |
| Neanthes micromma | 1,12 | 1,26 | 84,03 |
| Prionospio minuspio | 1,25 | 3,15 | 63,04 |

Del cálculo de los PC´s, se obtuvo que los tres primeros componentes principales explicó el 82,1 % del total de la varianza (Tabla 3).

***Tabla 3.*** *Varianza explicada para cada factor de los PC´s*

| PC | Eigen Values | Variacion % | Variacion Acum. % |
|---|---|---|---|
| 1 | 11 | 44,4 | 44,4 |
| 2 | 6,86 | 27,6 | 71,9 |
| 3 | 2,53 | 10,2 | 82,1 |
| 4 | 1,89 | 7,6 | 89,7 |
| 5 | 1,43 | 5,7 | 95,4 |

Las especies *Aricidea simplex, Lumbrineris verilli, Prionospio jubata, Prionospio minuspio,* y *Diopatra tridentata,* presentaron las mayores correlaciones positivas en el PC1 respecto a las demás especies (Tabla 4).

***Tabla 4.*** *Coeficientes de combinaciones lineales para las especies que explican la varianza según el PC*

| Variable | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Aricidea simplex | 0,556 | 0,158 | -0,075 | -0,226 | 0,011 |
| Lumbrineris verilli | 0,376 | 0,192 | 0,177 | 0,427 | -0,098 |
| Prionospio jubata | 0,279 | 0,117 | -0,134 | -0,216 | -0,084 |
| Prionospio minuspio | 0,258 | -0,187 | 0,272 | -0,132 | -0,051 |
| Dipatra tridentata | 0,21 | 0,071 | -0,25 | -0,14 | -0,134 |

El componente 1, que explica el 44,4% de la varianza, proporciona mayor información acerca de la forma en la cual el ecosistema está estructurado ecológicamente en relación a las especies de poliquetos encontradas.

***Especies indicadoras***
De acuerdo con los resultados obtenidos del SIMPER y del análisis de componentes principales, se obtuvo que las espacies indicadoras son *Aricidea simplex, Lumbrineris verilla,* y *Prionospio minuspio,* pertenecientes a las familias *Paraonidae*, *Lumbrineridae* y *Spionidae* respectivamente. Dichas especies tiene una clasificación de I, II y IV respectivamente, de acuerdo a los Grupos Ecológicos AMBI. La especie *Aricidea simplex,* fue la más abundante, pero dicha abundancia podría obedecer a que en el momento del muestreo dicha especie se encontraba en la etapa reproductiva, dado que la mayor abundancia se presentó en la estación C3, cuyo valor de AMBI fue de 1, indicando un estado ecológico *no perturbado* por materia orgánica.

**Variables ambientales**

Para determinar la distribución de las estaciones en relación a las variables ambientales, se realizó el BIOENV con 21 variables las cuales fueron Fósforo Total Orgánico (PTa), Carbono Orgánico Total (COTa), Nitrógeno Orgánico (NOa), Nitritos (NO2a), Nitratos (NO3a), Nitrógeno amoniacal (NH4a), Clorofila(Clo), Temperatura (T), Oxígeno Disuelto (OD), Algas (Alg), Sólidos Totales Disueltos (TDS), porcentaje de Oxígeno Disuelto (%OD), Salinidad (S) en el agua, y en el sedimento el Fósforo Total Orgánico (PTs), Carbono Orgánico Total (COTs), Nitrógeno Orgánico (NOs), Nitritos (NO2s), Nitratos (NO3s), Nitrógeno amoniacal (NH4s), Contenido de Matera Orgánica (MO), Contenido de Cieno (Cie). El ordenamiento de las estaciones se muestra en la Figura 3.

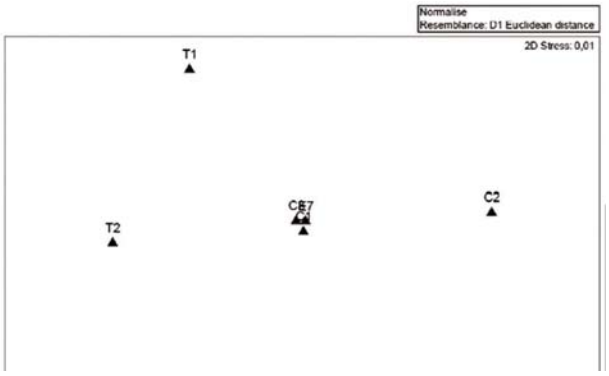


**Figura 3.** Ordenación nMDS basada en las variables ambientales.

De acuerdo con el BIOENV, las variables que mejor explican la distribución de las estaciones en relación a la estructura y abundancia de poliquetos son el Fósforo Total (PTa), el Oxígeno Disuelto en el agua, y el Fósforo Total (PTs) y el contenido de Cieno en el sedimento. La correlación entre las variables ambientales y las biológicas fue del 83% y la prueba de Mantel mostró que dicha correlación tiene un nivel de significancia del 17,9%. Por tanto, las variables ambientales anteriormente mencionadas, aunque explican de cierta forma la distribución de las estaciones, no son las variables clave que determinan de forma significativa la distribución de las asociaciones de poliquetos.

Los nMDS con la sobreposición de las variables significativas del BIOENV y la prueba de Mantel, se muestra en la Figura 4.

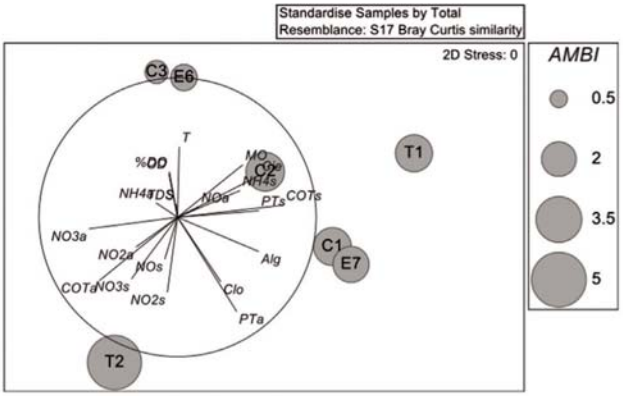


**Figura 4.** Ordenación de las estaciones de muestreo en relación a las variables significativas de la prueba BIOENV y la prueba de Mantel.

## Conclusiones

A partir de los datos obtenidos del SIMPER y el análisis de componentes principales, y en contraste con el BIOENV y el AMBI, se concluye que la alta densidad de *Aricidea simplex,* no es debida únicamente al enriquecimiento de materia orgánica, sino a que en el momento de muestreo se encontraba en la etapa de reproducción.

En términos ecológicos, es importante determinar las variables ambiéntales que inciden en la variación de las comunidades biológicas. Por tanto, los resultados de la relación entre las variables ambientales y ecológicas, un gran porcentaje del total de la varianza fue explicada por las variables fósforo total en agua y sedimento, el oxígeno disuelto y el contenido de cieno.

De acuerdo al AMBI, las estaciones T1, C1, C2 y E7 presentan una perturbación ligera, C3 y E6 no se encuentran perturbadas y T2 se encontró perturbada. Dichos niveles de perturbación tienen relación al enriquecimiento por materia orgánica.

## Literatura citada


1. AZTI. (2015). Software AMBI. Recuperado de: http://www.azti.es.
2. Bazairi, H., Bayed, A. & Hily, C. (2005) Structure et bioe´valuation de l'e´tat e´cologique des communaute´s benthiques d'un e´cosyste`me lagunaire de la coˆte atlantique marocaine. *Comptes Rendus Biologies*. Vol. 328, 977–990.
3. Borja, A., Franco, J. & Perez, V. (2000) A marine biotic index to the establish ecology quality of soft-bottom benthos within European estuarine coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* Vol. 40, 1100–1114
4. Borja, A., Muxika, I. & Franco, J. (2003) The application of a marine biotic index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along the European. *Marine Pollution Bulletin* Vol 46, 835–845
5. Bustos-Baez, S. & Frid, C. (2003) Using indicator species to assess the state of macrobenthic communities. *Hydrobiologia* Vol. 496, 299–309.
6. Cai, L., Tam, N.F.Y., Wong, T.W.Y., Ma, L., Gao, Y. & Wong, Y.S. (2003) Using Benthic Macrofauna to Assess Environmental Quality of Four Intertidal Mudflats in Hong Kong and Shenzhen *Coast. Acta Oceanol. Sinica* Vol. 22, 309–319.
7. Calderón-Aguilera, J.E. (1992) Análisis de la infauna béntica de bahía de San Quintin, baja California, con énfasis en su utilidad en la evaluación de impacto ambiental. *Ciencias Marinas*. Vol. 4: 27-46.
8. Dauvin, J.C., Ruelleta, T., Desroya, N. & Janson, A.L. (2007).The ecological quality status of the Bay of Seine and the Seine estuary: Use of biotic indices. *Marine Pollution Bulletin.* Vol 6, 1-9.
9. Guzmán-Alvis, A.I., Lattig, P. & Ruiz, J. (2006) Spatial and temporal characterization of soft bottom polychaetes in a shallow tropical bay (colombian Caribbean) *Boletin de Investigaciones Carinas y Coteras*.35 19-36. ISSN 0122-9761 Santa Marta, Colombia.
10. Hartman, O. (1968) *Atlas of the Errantiate Polychaetus Annelids from California*. Allan Hancock Foundation, University of Southern California
11. Lucero, C.H., Cantera, J.R. & Romero, I. (2006).Variability of macrobenthic assemblages under abnormal climatic conditions in a small scale tropical estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol 68: 17-26.
12. Muniz, P.,Venturini, N., Pires-Vanin A., Tomáis L. & Borja, A. (2005) Testing the applicability of a Marine Biotic Index (AMBI) to assessing the ecological quality of soft-bottom benthic communities, in the South America Atlantic region. *Marine Pollution Bulletin* Vol. 50, 624-637
13. Pearson, T. H. & Rosenberg, R. (1987) Feast and fanime: structuring factors in marine benthic communities: 373-395. In: Gee J. and P. Giller (eds). Organization of communities: past and present. *The 27th Symposium of the British Ecological Society Aberystwyth. Blackwell Scientific Publications.* Oxford
14. Peña-Salamanca, E.J. (2008). Dinámica espacial y temporal de la biomasa algal asociada a las raíces de mangle en la bahía de Buenaventura, costa Pacífica de Colombia. Boletin de Investigaciones Marinas y Costeras, Vol. 37 (2) 55-70 ISSN 0122-9761 Santa Marta, Colombia
15. Salazar-Vallejo, S.I. (1991). *Contaminación marina: Métodos de evaluación biológica*. México D.F. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Fondo Pub. Ed. Gob. Quintana Roo, Chetumal.


## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 16 de marzo de 2015
Aceptado: 20 de abril de 2015

# Diagnóstico y monitoreo de leptospirosis en Latinoamérica

# Diagnosis and monitoring of leptospirosis in Latin America

## *Diagnóstico e monitorização de leptospirose em Latinoamérica*

**Oscar Moreno Foglia[1], Catalina Trujillo Salinas[2], Cicero Antonio Maia Cavalcante[3] & José Camilo Torres Romero[4]**

[1]Licenciado en Biología, Médico Veterinario. [2]Médico Veterinario. [3]Licenciada em Ciências Biológicas / Bacharelado em Ciencias Farmaêuticas. [4]Licenciado en Biología, Magister en Ciencias-Bioquímica, Candidato a Doctor en Bioquímica y Biología Molecular UFC- Brasil.

[1]Dirección de Investigación, Fundación Muisca. Bogotá, Colombia. [2]Programa de Medicina Veterinaria. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. [3]Licenciatura em Ciências Biológicas. Instituto Federal do Ceará (IFCE). Campus Jaguaribe – Ceará. Brasil. [4] Programa de Ingeniería Ambiental. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá. Colombia.

[1]ogmorenof@unal.edu.co, [2]catrujillos@unal.edu.co, [3]ciceroamcavalcante@ifce.edu.br, [4]jose.torres@unad.edu.co

### Resumen

La leptospirosis es una enfermedad de gran importancia en el mundo debido a su componente zoonótico, el objetivo de esta investigación fue realizar una asociación entre la presencia de la enfermedad en animales domésticos, humanos y roedores silvestres en Latinoamérica. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica haciendo énfasis en reportes asociados a roedores silvestres en los últimos 50 años. Como resultado se pudo establecer que los roedores silvestres seropositivos a la bacteria, en la mayoría de los casos, resultaban negativos en cultivo y los títulos eran bajos en comparación con la seroprevalencia en los animales domésticos, por lo que se deduce que son el principal factor de riesgo. Por tanto, es necesario establecer un control estricto en las explotaciones pecuarias, así como realizar estudios minuciosos, con el fin de disminuir los brotes en humanos e impedir la diseminación de la enfermedad a la fauna silvestre y la propagación de la enfermedad en humanos.

**Palabras clave**: Leptospira, roedores, zoonosis, diagnóstico, reservorio, Latinoamérica.

### Abstract

Leptospirosis is a disease of great importance in the world because of its zoonotic component, the purpose of this research was to establish a relation between the presence of the disease among domestic, human and wild rodents in Latin America. A review of available bibliography was conducted with an emphasis on reports associated with wild rodents in the last 50 years. As a result it was established that wild rodents that were seropositive to the bacteria, in most cases, had negative culture results and titles were low compared to the seroprevalence in pets, it therefore follows that they are

the main risk factor. In conclusion, it is necessary to establish a strict control on livestock farms as well as perform detailed studies, in order to reduce outbreaks in humans and prevent the spread of the disease to wildlife and humans.

**Key-words**: Leptospira, rodents, zoonoses, diagnosis, reservoir, Latin America.

## Resumo

A leptospirose é uma doença de grande importância no mundo por causa de seu componente zoonótica, o objetivo desta pesquisa foi o de fazer uma associação entre a presença da doença em animais domésticos, humanos e roedores silvestres na América Latina. Foi realizada uma revisão da literatura com ênfase em relatórios associados a roedores silvestres nos últimos 50 anos. Como resultado pudo estabelecer-se que os roedores silvestres seropositivos à bacteria, na maioria dos casos, resultavam negativos em cultura e os títulos eram baixos em relação com a seroprevalência nos animais domésticos, pelo qual se deduze que são o principal fator de risco. Portanto, é necessário estabelecer um control rigoroso nas explotações pecuarias bem como realizar estudos detalhados a fim de disminuir a incidência em humanos e evitar a diseminação da doença à fauna Silvestre.

**Palavras-chave:** Leptospira, roedores, zoonoses, diagnóstico, reservatório, América Latina.

## Introducción

Los miembros del genero Leptospira son bacterias helicoidales que pueden existir como saprofitos de vida libre o en asociación con un diverso rango de hospederos animales (Adler & Faine, 2006; Cespedes, 2005). La leptospirosis es una epizoodemia de gran importancia en el mundo. Produce grandes pérdidas económicas a nivel pecuario y repercusiones graves para la salud humana. A pesar de esto son pocos los estudios que se realizan de los ciclos silvestres de esta enfermedad y cómo es su relación con el ecosistema. (Sandow & Ramírez, 2005; Cespedes, 2005; Bharti *et al*., 2006).

En países tropicales como Colombia las condiciones ambientales y productivas favorecen la transmisión y replicación de la enfermedad; variables como la precipitación, humedad, temperatura, estructura y composición del suelo, así como la irrupción de la frontera agrícola a ecosistemas cerrados son los factores más favorables para su presentación (Morales, Guzmán & Beltrán, 1978). La principal fuente de transmisión al humano es el contacto con orina y heces de roedores, caninos, porcinos y bovinos durante la enfermedad activa o en su fase de portadores asintomáticos. Es imprescindible tomar medidas efectivas para el control de ésta enfermedad, debido a su fácil transmisión entre especies. Identificar el serogrupo o serovar actuante es imprescindible, puesto que la presencia de un serovar o serogrupo determinado depende principalmente de la existencia de su hospedero definitivo y según sea el hospedero las medidas de control serán diferentes.

Según lo observado en otras investigaciones, los roedores hacen parte esencial del ciclo de transmisión de la Leptospira, por lo que se debe hacer especial énfasis en la identificación de éstos cómo factores de riesgo dentro del ecosistema; por esta razón en el presente artículo se pretende compilar información sobre la identificación de la bacteria en roedores silvestres especialmente en cuyes (*Cavia* spp.) en diferentes zonas de América Latina teniendo en cuenta su rol epidemiológico en los ciclos silvestres de la enfermedad (Petrakovsky *et al*., 2014).

### Planteamiento de la temática

Se realizó la recopilación de los principales artículos publicados acerca de las bacterias del género Leptospira que producen enfermedades clínicas

frecuentes en Latinoamérica. El artículo incluye los trabajos publicados en los últimos 50 años, por cualquier institución o investigador individual y en cualquier idioma, se presenta información sobre el organismo patógeno, hospederos roedores, epidemiología, diagnóstico del patógeno y factores de riesgo.

**El organismo**

El género Leptospira comprende espiroquetas delgadas de aproximadamente 6 a 20 µm de longitud y 0,1 a 0,2 µm de diámetro. En este género se incluyen especies patogénicas y saprofitas que se encuentran agrupadas en dos especies: *L. biflexa* y *L. interrogans* que contienen a su vez más de 210 serovares y 23 serogrupos de acuerdo a sus antígenos determinantes (Faine, Adler, Bolin & Perolat, 1999; Levett, 2001). Se describe el aspecto morfológico de estos microorganismos que presentan en su parte polar dos flagelos que se insertan en el espacio periplásmico y cuya principal función es la locomoción (Picardeau, Brenot & Saint Girons, 2001; Barbosa *et al*., 2006). Tienen además una envoltura celular similar a las bacterias Gram negativas, que consiste en una membrana citoplasmática y otra externa. Sin embargo, la capa de péptidoglicano está asociada con la membrana citoplasmática en vez de la membrana externa, algo que es único de las espiroquetas. Son organismos aerobios obligatorios y se les considera bacterias hidrófilas ya que en la mayoría de estudios se le relaciona con ambientes de alta humedad relativa y pH neutral (Sacsaquispe, Gleny & Cespedes, 2003).

**Patogénesis**

Leptospira es un patógeno que infecta gran diversidad de mamíferos incluyendo humanos y animales domésticos. En estas especies la enfermedad se caracteriza por ser de tipo sistémico y provoca fiebre, insuficiencia renal y hepática, manifestaciones respiratorias y en algunas especies problemas reproductivos (Ballard *et al.,* 1986). Aunque en la mayoría de especies se presenta enfermedad, en algunos casos una vez recuperadas pueden portar el microorganismo de forma asintomática y excretarlo por vía renal durante largos periodos al medio ambiente favoreciendo su diseminación (Levett *et al*., 2005; Levett, Morey, Galloway & Steigerwalt, 2006).

Los hospederos son susceptibles de adquirir la infección al entrar en contacto la piel lesionada o las mucosas con orina o tejido de animales infectados. Especies de roedores cómo el ratón doméstico (*Mus musculus*), rata novergica (*Rattus novergicus*) y rata común (*Rattus rattus*) se han relacionado como reservorios de ciertos serovares de Leptospira (Bharti *et al*., 2003; Sacsaquispe, Glenny & Cespedes, 2003). El microorganismo entra directamente al torrente sanguíneo. Los serovares apatógenos fallan en la multiplicación y son rápidamente eliminados por el sistema inmune del huésped dentro del primer y segundo día. Los organismos virulentos se multiplican hasta que son opsonizados y fagocitados durante la etapa en que los anticuerpos aglutinantes son apenas detectables por prueba de microaglutinación; éstas son rápidamente eliminadas por el sistema retículoendotelial. La tasa de crecimiento *in vivo* es equivalente a seis u ocho horas en infecciones experimentales. En animales de experimentación altamente susceptibles, el crecimiento continúa hasta que altas concentraciones de Leptospira son encontradas en todos los tejidos, especialmente sangre, hígado, riñón, pulmón, cerebro y glándulas adrenales. En este momento los signos clínicos y los cambios patológicos en muchos tejidos son evidentes. Si el animal está preñado, el feto o fetos pueden infectarse durante la fase de leptospiremia. La patogénesis de la infección y los cambios patológicos en el feto se asemejan esencialmente a los observados en animales adultos, pero son relativamente más severos debido a la falta de inmunidad en el feto (Faine *et al*., 1999).

En la mayoría de los casos la infección con Leptospira en los roedores es asintomática o genera signos leves de enfermedad (Percy & Barthold, 2007), por lo que el cuadro clínico en estos animales es poco descrito. En humanos la infección ha sido caracterizada como bifásica. El periodo de

incubación oscila entre 2 y 26 días con una media de 10 días. El primer estadio es la fase septicémica que tiene una duración aproximada de 4 a 7 días con presentación de fiebre, cefalea, dolores osteomusculares y depresión. Durante esta fase es posible el aislamiento de la bacteria en sangre, orina y otros fluidos (Chinchilla, Boza & Sáens, 1996). La segunda fase corresponde a la fase inmune cuya duración es de 4 a 30 días, para este caso la bacteria ha abandonado el torrente sanguíneo y ha infectado otros órganos como riñones, hígado, humor acuoso, entre otros (Chinchilla, Boza & Sáenz, 1996).

La patogenicidad de la Leptospira no está del todo conocida, sin embargo se han realizado muchos estudios relacionados con los factores de virulencia que pueden dar una idea de los mecanismos de daño en los hospederos. Igualmente se ha demostrado que la inmunidad del hospedero tiene un papel importante en la patogenicidad de la bacteria puesto que se ha observado que hay una gran variedad de manifestaciones clínicas (Bharti *et al*., 2003; Sacsaquispe, Glenny & Cespedes, 2003). Los mecanismos de patogenicidad pueden dividirse en dos tipos: Los efectos directos de Leptospira y la respuesta inmune del hospedero. Uno de los mecanismos de virulencia es la motilidad de la bacteria y su capacidad para moverse en medios viscosos (Faine *et al*., 1999). Esta característica es importante durante la fase de infección y diseminación de la bacteria desde el sitio de entrada hasta los órganos blanco. La actividad hemolítica, fosfolipasa y esfingomielinasa se ha demostrado *in vitro* aunque la relevancia de éstos no ha sido bien establecida (Bharti *et al*., 2003).

Se ha demostrado la síntesis de lipopolisacárido (LPS) en las interacciones con células *in vitro*. También se ha encontrado la existencia de hemolisinas y la capacidad de adherencia de ciertas cepas y de diversos serotipos a los fibroblastos de ratón; esta propiedad es superior cuando se trata de cepas virulentas. En otros estudios *in vitro* se evidenció que las leptospiras tienen capacidad de penetración intracelular en células endoteliales humanas; aunque tal propiedad invasora no ha podido demostrarse *in vivo*, explicaría la vasculitis hemorrágica petequial observada en las formas graves de leptospirosis humana (Dooley *et al.,* 1976; Cerqueira & Picardeau, 2009).

**Epidemiología**

La leptospirosis es una enfermedad de distribución mundial. La incidencia en humanos es más alta en el trópico aunque en países estacionales también se presenta la enfermedad. Las tasas de incidencia están subestimadas ya que no hay un reporte de diagnóstico eficaz y en regiones endémicas es común que los casos tengan signos leves o sean asintomáticos (Bovet *et al*., 1999; Ashford, Kaiser & Spiegel, 2000). La mayoría de los casos ocurren en adultos jóvenes, principalmente personas con riesgos ocupacionales que los hacen estar en contacto con aguas contaminadas con leptospiras (agricultores en terrenos inundados, veterinarios, mineros y trabajadores de alcantarillados, entre otros), así como personas con exposición recreacional (nadadores, acampadores y pescadores, entre otros). Se ha observado la presencia de brotes epidémicos en soldados que durante su entrenamiento han ingerido agua contaminada (Bovet *et al*., 1999). Las características socioeconómicas de las poblaciones tal y como lo describen Pereira & Andrade (1990) en los habitantes de los barrios bajos de Río de Janeiro, favorece la proliferación del reservorio principal (Corwin *et al*., 1990).

Los roedores fueron los primeros reservorios conocidos de la bacteria relacionados con la transmisión de la enfermedad a los humanos (Matthias & Levett, 2002). Desde 1963 se han hecho estudios de asociación entre Leptospira y los roedores suramericanos. Blood, Szifres & Moya (1963) demostraron la infección por la *L. pomona* en *Cavia pamparum* en la provincia de Corrientes, Argentina, por medio de cultivo y microaglutinación, asociada a un brote en ganado bovino. Se colectaron 282 muestras de las cuales 25 dieron positivas por serología (9%) y 11 para cultivo (4%). Los autores exponen la alta correlación entre el mantenimiento del ciclo de la enfermedad en los

bovinos y la infección en los cuyes ya que pese a que los muestreos se realizaron en intervalos de tiempo diferentes siempre hubo animales seropositivos en los potreros problema.

En los años 1966 y 1967 Liceras (1975), llevó a cabo un estudio de identificación de serovares de Leptospira en Perú. Además de las muestras en animales domésticos se tomaron muestras serológicas de seis cobayos silvestres (*Cavia aperea festina*) y siete roedores no identificados. De los 6 cobayos 4 resultaron seropositivos para los serovares pomona-autumnalis-pyrogenes, pomona-autumnalis-butembo, pomona-butembo-copenhageni, pomona-grippotyphosa-butembo; con títulos que variaron de 1:100 y 1:3000.

Cordeiro & Sulzer (1981) en Brasil, llevaron a cabo un estudio en el que evaluaron la infección por Leptospira en diferentes especies de animales silvestres del sudeste del país; de 43 especies examinadas 6 especies de roedores fueron asociadas como portadoras de la bacteria: *Mus musculus*, *Akodon arviculoides*, *Rattus rattus*, *Rattus norvegicus*, *Nectomys squamipes* y *Oryzomys nigripes*. Del total de 742 animales analizados 88 fueron seropositivos a uno o varios serovares de la bacteria donde: de 173 *Mus musculus* resultaron positivos 63 (36,41%) a los serovares ballum, pomona y tropica; de 307 *Akodon arviculoides* fueron positivos 14 (4,56%) para el serovar pomona y 2 más no identificados. De 189 *Rattus rattus*, 5 (2,64%) fueron positivas a serovar pomona y 1 no identificado; de 21 *Rattus norvegicus*, 2 (9,52%) fueron positivas a un serovar no identificado. De 42 *Nectomys squamipes*, 2 (4,76%) animales fueron positivos para el serovar australis y de 10 *Oryzomys nigripes*, 2 (20%) fueron seropositivos al serovar pomona. Este estudio permitió identificar un total de 8 diferentes serovares y nuevas especies reservorio de la bacteria en Brasil y predecir factores de riesgo para los animales domésticos y los humanos.

Más tarde, en 1982 se investiga la presencia de la infección por Leptospira en 106 roedores silvestres capturados en el área rural de la provincia de Valdivia, Chile. En esta ocasión se empleó la tinción de Levaditi en el tejido renal para detectar la leptospira microscópicamente. También se realizó un estudio seroprospectivo en esos pequeños mamíferos, detectándose que 47 (16%) eran positivos, predominando los anticuerpos frente a los serovares más frecuentemente constatados en los animales domésticos de la zona, tales como pomona, sejroe, copenhageni y tarassovi, entre otros, prevaleciendo la infección en *Abrothrix longipilis*, *Abrothrix olivaceus* y *Oligoryzomys longicaudatus* (Riedemann & Zamora, 1982).

Durante estudios posteriores en Chile, se capturaron 784 roedores múridos silvestres en zonas urbanas y rurales de Valdivia durante 3 años, esto permitió establecer que la prevalencia cruda para esta zona fue de 37.8%; también se pudo comprobar que éstos estaban infectados en un porcentaje superior en el área rural (41.4%) que los cazados en la ciudad (24.2%). De acuerdo al diagnóstico efectuado por serología, aislamiento y tinciones inmunoquímicas y según la aglutinación microscópica el serovar pomona fue el de mayor prevalencia seguido en orden descendente por canicola, hardjo, javanica, icterohaemorrhagiae y tarassovi. Según la especie resultaron positivos: 20/97 (20.6%) ejemplares de *M. musculus*, 87/175 (49,7%) de *A. longipilis*, 91/206 (44.2%) de *A. olivaceus*, 77/191 (40.3%) de *O. longicaudatus*, 18/85 (21.2%) de *R. rattus*, 2/27 (7.4%) de *R. norvegicus* , 1/2 (50%) de *G. valdivianus* y 0/1 (0.0%) de *A. microtus*. Se pudo apreciar que la prevalencia varió notablemente de acuerdo a la estación del año en que se capturó el roedor, siendo mayor en invierno con un 41.4%, para disminuir en otoño y primavera a un 37.3% y ser la más baja en verano con el 29.8%. Situaciones semejantes se han descrito en otros países, evidenciando que los valores de infección son bajos en los roedores adultos durante los meses de verano, pero se incrementan notablemente a comienzos de otoño hasta el inicio de la primavera (Zamora, Riedemann & Cabezas, 1995; Zamora, 1998; Zamora & Riedemann, 1999).

En un estudio realizado por Bunnel (2002) en el Amazonas peruano, en donde se tomaron muestras de riñón de diferentes especies de animales silvestres, se encontró que de las 72 muestras de roedores evaluadas por PCR la seroprevalencia para Leptospira en estos animales era del 20%. Vanasco, Sequeira, Sequeira & Tarabla (2003) realizaron un estudio en la ciudad de Santa Fe, Argentina, en el que se asocia la presencia de la enfermedad junto a la seropositividad de los roedores y las condiciones ambientales. En el estudio se capturaron 214 roedores domésticos y silvestres de los cuales se procesaron 201 muestras. Los resultados de este estudio arrojan una prevalencia cruda por seropositividad (ELISA positivo) del 48%. En las áreas de corredores naturales, los aislamientos correspondían al el serovar ballum, mientras que en la zona urbana se aisló el serotipo icterohemorrágica. Con respecto a las especies de roedores, la familia Murinae fue la más común; *M. musculus*, fue la especie más capturada, para ésta, de 92 muestras probadas para Elisa el 34% resultó positivo. En el caso del cultivo de las 43 muestras el 44% se logró cultivar y correspondían al serogrupo ballum. *R. novergicus* mostró una prevalencia serológica del 48% (23 muestras) y el diagnóstico por cultivo fue del 12% (17 muestras) aislándose el serogrupo ballum. *R. rattus* resultó positiva a serología en un 38% (32 muestras) y el aislamiento por cultivo fue del 18% (17 muestras), en las que se aisló el serotipo icterohemorrágica. Para la familia Sigmodontinae se capturaron individuos de las especies *A. azarae*, *C. laucha*, *C. musculinus*, *H. brasiliesis*, y *O. flavescens* en las que se encontraron seroprevalencias de 41% (29 muestras), 0% (2 muestras), 0% (2 muestras), 100% (2 muestras) y 84% (19 muestras), respectivamente; mientras que para el cultivo todas las muestras resultaron negativas. Los autores concluyen que no está del todo claro el papel de los roedores silvestres en el ciclo de la leptospirosis en Santa Fe, ya que aunque algunos fueron seropositivos en el cultivo, inmunohistoquímica y tinción diferencial de plata fueron negativos.

Gressler *et al*. (2009) llevaron a cabo un estudio serológico en 5 cuyes (*Cavia aperea*) capturados en el campus de la Universidad de Santa María, provincia de Santa María, estado de Rio Grande do Sul, Brazil. Los serovares de *Leptospira interrogans* estudiados fueron: bratislava, butembo, canicola, grippotyphosa, hardjo, icterohaemorrhagiae, pomona, y wolffi. Cómo resultados se obtuvo que 4 de los 5 cuyes evaluados presentaban infección mixta por los serovares de *L. interrogans* con títulos de 1:100. Dos roedores eran positivos serológicamente a hardjo y butembo y los otros a hardjo y bratislava. Sin embargo, los animales no presentaban signos clínicos de la enfermedad.

En 2011 Montes *et al*. realizaron un estudio en ardillas nuca blanca (*Sciurus stramineus*) cuyo objetivo fue detectar la frecuencia de anticuerpos contra *Leptospira* sp. en la población silvestre capturada en el zoológico Parque de Las Leyendas, Lima, Perú. Se colectaron 35 muestras de suero de ardillas de ambos sexos, de diferentes edades y zonas del zoológico y se evaluaron mediante la prueba de microaglutinación. El 82.3% (29/35) de animales presentó anticuerpos contra *Leptospira* sp., donde el 60% correspondió al serovar icterohemorraghiae, seguidos por georgia (31.4%), canicola (5.7%), y australis (2.8%). No hubo diferencia estadística entre la presencia de anticuerpos contra *Leptospira* sp. y las variables sexo, edad y área de captura de las ardillas.

Méndez *et al*. (2013) determinaron la distribución de anticuerpos antileptospira en roedores silvestres y en tres especies domésticas que comparten el mismo hábitat en un área endémica de leptospirosis bovina al NE de México. Se analizaron muestras de suero de 24 roedores, 220 bovinos, 24 equinos y 6 caninos con la prueba de aglutinación microscópica empleando 12 serovariedades de Leptospira de las más comunes en México; excepto los roedores que se evaluaron contra: siete serovariedades (importantes en este grupo de animales). Las especies valoradas reaccionaron contra una o más serovariedades con el porcentaje de seropositividad siguiente: 50% de los

roedores reaccionó contra icterohaemorrhagiae (37%), grippotyphosa (14%), tarassovi (12%) y canicola (4%). El 52% de los bovinos reaccionaron contra hardjoprajitno cepa H89 (45.5%), hardjoprajitno (33.1%), wolffi (28.6%) y tarassovi (9%). Los equinos presentaron una seropositividad de 70.8% contra tarassovi (41.6%), hardjoprajitno (29.1%), wolffi (12.5%) y hardjoprajitno cepa H89 (12.5%). El 100% de los caninos resultaron seropositivos, a icterohaemorrhagiae cepa palo alto, portland-vere cepa sinaloa y canicola, mientras que contra icterohaemorrhagiae sólo 66.6%.

**Diagnóstico**

Comprende el diagnóstico de la bacteria o su genoma. Las concentraciones de Leptospira son bajas en fluidos biológicos por lo que se considera un reto el aislamiento. Además los periodos de leptospiremia suelen ser bastante cortos y durante esta fase los signos clínicos suelen ser muy inespecíficos por lo que la detección es baja. Este tipo de diagnóstico requiere gran experiencia. Los resultados falsos positivos son comunes, principalmente debido a la confusión con hebras de fibrina o restos celulares. No se considera técnica de diagnóstico definitivo, se recomienda no aceptar ni excluir el diagnóstico. Las leptospiras no son teñibles por tinción clásica de Gram, pero se pueden emplear algunas coloraciones que no se utilizan comúnmente en el diagnóstico como la tinción de plata o se puede emplear inmunofluorescencia directa o inmunoperoxidasa (Musso & Lascola, 2013).

Las leptospiras se cultivan en medios artificiales constituidos por una solución de sales minerales y aminoácidos a los que se añade suero de conejo (medios de Fletcher y Stuart), o albúmina bovina con Tween 80 (medio de Ellinghausen, McCullogh, Harris y Johnson o EMJH). La incubación se realiza a 28-30ºC. Debido a su lento desarrollo, sólo se observa crecimiento después de transcurrida una semana; sin embargo, no debe considerarse el cultivo como negativo sino hasta transcurrido un mes. El crecimiento en medios líquidos se manifiesta por enturbiamiento; y en los medios semisólidos, el desarrollo se inicia a 1-2 cm de la superficie, pero la morfología de la colonia no es característica.

La identificación de la cepa aislada se efectúa mediante técnica de aglutinación microscópica con anticuerpos específicos de serogrupo y serotipo. En los laboratorios de referencia hay anticuerpos monoclonales muy específicos. La identificación se completa con el método molecular de “huellas digitales” (finger-print) y con el análisis de restricción del ADN y uso de endonucleasas (Pumarola & Rodriguez, 1992; Palaniappan *et al.,* 2002; Ganoza *et al.*, 2006).

La técnica de microagrutinación (MAT) o Test de Martin y Pettit, fue desarrollada aproximadamente hace un siglo en el Instituto Pasteur. Es la técnica de referencia en la que se utilizan suspensiones vivas de Leptospira y hay lectura microscópica en campo oscuro. Su especificidad se refleja en la propiedad del suero del paciente de aglutinar sólo la serovariedad o grupos de serovariedades antígénicamente relacionadas. A pesar que el “MAT” es la prueba serológica de elección, su complejidad limita su aplicación a laboratorios especializados (Terpstra, 1990). Este método presenta algunas desventajas, ya que por su especificidad se requiere de un panel de serovariedades como antígenos diagnósticos que cubran el espectro de las serovariedades que causan la enfermedad en una zona determinada (Chinchilla, Boza & Sáenz, 1996).

La técnica de ELISA aún no se tiene como una prueba de rutina en los laboratorios de diagnóstico, debido a que la comparación y estandarización en la preparación del antígeno resulta difícil, dado que el antígeno se extrae de diferentes serovariedades, se usan distintos métodos y se analizan por diferentes procedimientos (Chinchilla, Boza & Sáenz, 1996). Esta técnica ha sido utilizada desde los años noventa. Recientemente se ha incrementado su uso en el diagnóstico en zonas endémicas por su sensibilidad y su capacidad de proveer un diagnóstico temprano. El umbral de detección es de 10-100 leptospiras/ml en sangre u orina. (Piccardeu, 2013).

**Factores de riesgo asociados a la enfermedad en humanos.**

Los principales factores de riesgo en Latinoamérica están relacionados con la alta pluviosidad así como con factores sociales como la desigualdad social, ya que poblaciones sin servicios públicos básicos como agua potable, alcantarillado y recolección de basura tienen un riesgo mayor de exposición a leptospirosis. (WHO, 1986; Ospina-Pinto & Hernández, 2015)

Personas que están expuestas laboralmente a aguas estancadas, labores agrícolas, personal veterinario, ganaderos e inspectores de carne, presentan un alto riesgo de exposición; sin embargo esto depende de las buenas prácticas de bioseguridad que se lleven a cabo durante el contacto con animales portadores o lugares donde pueda encontrarse la bacteria (Kikuti *et al*, 2012)

**Tendencias en el campo de conocimiento.**

Entre 1960 a 2015, de 121 artículos que fueron publicados en el tema; se tiene que 11 artículos corresponden a reportes realizados en Colombia, 8 a Argentina, 11 artículos en Centroamérica, 2 para Chile, 1 a Ecuador, 12 en Perú y 1 a Venezuela; los restantes corresponden a información general acerca de la bacteria y su epidemiología.

Morales, Guzmán & Beltrán (1978) realizaron el primer estudio de Leptospirosis en Colombia en el que se evaluó el rol epidemiológico de la rata negra (*Rattus rattus*) en la transmisión de *Leptospira* serovar pomona en 4 granjas porcícolas infectadas en la región del Valle de Cauca, Colombia. En este trabajo se realizaron 8 aislamientos de 111 muestras de riñón de los cuales 7 corresponden al serovar icterohaemorhagiae y uno a pomona. Aunque la prevalencia es baja los autores resalta la importancia del hallazgo debido a que el serovar icterohaemorhagiae está asociado a la enfermedad de Weil en humanos y a leptospirosis aguda en cerdos.

Lins & Lópes (1984) examinaron por medio de cultivo y aislamiento un total de 696 animales silvestres en el estado de Pará, Brasil. De 246 animales correspondientes a la especie Proechimys sp., realizaron cuatro aislamientos de Leptospira dos del serovar ballum y dos de un serovar sin identificar. (Lins & Lopes, 1984), Enrietti en el 2001 realiza un estudio de incidencia en caninos, múridos y suínos en el estado de Paraná, Brasil, en el que se capturaron 50 individuos, 49 de la especie *Rattus rattus* y uno de la especie *Rattus norvegicus*. Se utilizaron dos técnicas para el diagnóstico de Leptospira, inoculación en cobayos y cultivo en medio Wenyon. La tasa cruda de positividad fue de 78%. Para la primera técnica se inocularon 45 cobayos de los cuales 25 fueron positivos (53,19%) y para el cultivo fueron positivos 31 de los 50 animales capturados (62%). Al comparar las técnicas los autores pueden establecer que el cultivo es un método más efectivo y menos dispendioso con respecto a la inoculación ya que ésta puede subestimar los resultados por razones como la muerte de los cobayos por diferentes causas (Enrietti, 2001).

Lilenbaum *et al.* (2002) realizaron un muestreo serológico en el zoológico de Río de Janeiro, Brasil en el que tomaron 77 muestras de 38 especies de animales. Sólo un roedor fue muestreado *Sphiggurus villosus* y se encontró negativo por la prueba de MAT contra los serovares australis, autumnalis, bratislava, castellonis, ballum, bataviae, canicola, grippotyphosa, hebdomadis, icterohaemorrhagiae, copenhageni, hardjo, pomona, pyrogenes, sejroe, tarassovi y wolffi (Lilenbaum *et al*., 2002).

Otro estudio realizado en Brasil por Correa *et al.,* publicado en 2004 encontraron que de 302 muestras tomadas en el Parque Zoológico de San Pablo, de las cuales 14 correspondían al orden Rodenthia (7 *Rattus norvegicus*, 5 *Dasyprocta azarae* y 2 *Hydrochoerus hydrochaeris*) Fueron positivos: dos *Dasyprocta azarae* para el serovar castellonis y tres *Rattus norvegicus* para el serovar icterohaemorrhagiae (Correa *et al*., 2004).

Bevilacqua *et al.* (2004) realizaron una caracterización poblacional y monitoreo de leptospirosis en un hospital veterinario y un fragmento de bosque

nativo en la provincia de Minas Gerais, Brasil, en donde capturaron 72 animales de la especie Rattus rattus en cercanías del hospital veterinario. En el fragmento de bosque se capturó un total de 32 roedores silvestres de los cuales 16 pertenecían al género *Oligoryzomis* sp, 11 al género *Akodon* sp., 3 a *Oximicterus* sp., uno a *Bolomis* sp. y uno a *Oryzomis* sp.. En ninguno de los casos se encontró evidencia de infección por Leptospira, sin embargo, los autores no descartan que estas especies puedan comportarse como reservorios de la enfermedad y atribuyen los hallazgos a un ambiente libre de animales portadores (Bevilacqua *et al*., 2004).

En el año 2008 Marder *et al.* realizaron un estudio de prevalencia de leptospira en roedores sinantrópicos y silvestres en la ciudad de Corrientes Argentina en el que se capturaron y muestrearon 100 individuos de la especie *Rattus rattus* y un individuo de *Mus musculus*. Por medio de cultivo y microscopía de campo oscuro se estableció que 58 individuos de la especie *Rattus rattus* al igual que el individuo de *Mus musculus* fueron positivos. Los autores concluyen que este hallazgo puede representar un gran riesgo para la comunidad debido a la alta prevalencia de la bacteria en los reservorios, sin embargo se desconoce su potencial patógeno ya que no fue reconocida la especie ni los diferentes serovares (Marder *et al*., 2008).

Silva, Seyffert & Jouglard (2009) realizaron en Brasil la identificación de infección por Leptospira en Capibaras en una planta de beneficio de Rio Grande do Sul. De las 22 muestras tomadas seis fueron seropositivas con títulos entre 100 y 3200. Los mayores títulos fueron para el serovar bratislava seguido del serovar australis cepa Hook. También hubo resultados positivos para los serovares panama, patoc, djasiman, copenhageni y autumnalis y se presentó una reacción positiva a *Leptonema illini* una espiroqueta saprófita genéticamente relacionada con Leptospira (Silva, Seyffert & Jouglard, 2009).

Conjuntamente Scialfa *et al.* (2010) en la ciudad de Tandil, Argentina realizan pruebas de microaglutinación (MAT), cultivo y aislamiento de 42 ratas marrones (*Rattus norvegicus*), encontrando seropositividad en el 52,3%, (22) para los serovares castellonis, canicola, grippotyphosa, icterohaemorrhagiae y hebdomadis. Los riñones de 25 animales fueron cultivados y se aisló *L. interrogans* en el 96% (24) de las muestras. Para los autores esto indica una infección endémica y un potencial riesgo para la salud pública y resaltan la concordancia de los hallazgos con otros realizados previamente en la república Argentina (Scialfa *et al*., 2010). Grune *et al.* (2014) aplican la técnica molecular de MLVA (Multiple-Locus Variable number tandem repeat Analysis) para caracterizar 22 cadenas aisladas de roedores urbanos y periurbanos en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, Argentina. Todas las cadenas fueron serotipificadas y arrojaron el mismo resultado que la tipificación por MLVA. 7 cadenas correspondieron a la especie *L. interrogans* las cuales 5 se tipificaron como serovar copenhageni e icterohaemorrhagiae. Dos de ellas aisladas en ratones periurbanos y tres de la especie *Rattus rattus*. Dos cadenas aisladas de *Rattus norvegicus* correspondieron al serovar portlandvere una al serovar canicola y quince a *L. borgpetersenii* serovar castellonis ocho de las cuales fueron aisladas de *Mus musculus*, una de *Rattus* sp. y cinco de *Rattus rattus*. Los autores avalan la técnica de MLVA como una opción para determinar nuevos hospederos silvestres de la bacteria e identificación específica de los serovares para realizar asociaciones epidemiológicas (Grune *et al*., 2014).

Scialfa, Recavarren, Quintana & Giamperetti (2015) realizan una comparación entre el PCR y otras técnicas de identificación de leptospira en animales silvestres en la provincia de Buenos Aires, Argentina. De un total de 34 animales fueron capturadas 16 ratas *R. norvegicus* de las cuales resultaron positivas dos por microaglutinación a los serovares grippotyphosa, canicola y castellonis; una por cultivo y seis por RT-PCR. En esta investigación se resalta el uso de PCR como una herramienta de alta sensibilidad y útil en el

diagnóstico de fases tempranas de la enfemedad (Grune, Recavarren, Quintana & Giamperetti, 2015).

En la actualidad con el objetivo de predecir e interpretar las bases moleculares de la trasmisión de la bacteria, así como encontrar estrategias que permitan realizar un diagnóstico temprano de la enfermedad, la tendencia es utilizar técnicas moleculares para estudiar el comportamiento vectorial de las enfermedades, así mismo para comprender el papel de animales domésticos en el incremento de la frecuencia de la enfermedad.

## Conclusiones

Los estudios en roedores evidencian que aunque estos son portadores de Leptospira, en la mayoría de los casos las especies silvestres tenían una menor prevalencia serológica. En los casos donde se encontraron animales silvestres portadores, con frecuencia los muestreos estaban asociados a explotaciones ganaderas lo que podría indicar que la fuente de infección son los animales domésticos. Si es así, La ampliación de la frontera agrícola es un factor importante para el aumento en la presentación de enfermedades emergentes y reemergentes debido a que se rompen los ciclos normales y se incluyen nuevos reservorios y diseminadores de los patógenos.

Aunque existen diversas técnicas de muestreo, la gran cantidad de serovariedades y sus reacciones cruzadas pueden, en algunos casos, crear confusiones con respecto a la epidemiología y la patogenicidad del microorganismo. En algunas zonas no se cuenta con la batería antigénica necesaria para identificar todas las serovariedades debido a que requieren laboratorios especializados.

Algunos países tras implementar medidas de monitoreo de la enfermedad como el reporte obligatorio generan una mayor cantidad de información. Para enfermedades como la leptospirosis es de vital importancia ya que se puede hacer un seguimiento en el tiempo para implementar medidas de control según su epidemiología.

Es de vital importancia desarrollar estudios en poblaciones silvestres poco intervenidas. Esto con el fin de establecer los posibles ciclos silvestres de infección y la relación hospedero patógeno. A pesar de que en Latinoamérica hay diversas investigaciones en animales silvestres, en Colombia los reportes se reducen a prevalencias en humanos y algunos animales domésticos. Sin análisis más profundos, La relación con la fauna silvestre y los ecosistemas aún es desconocida. En las zonas de ganado bovino hay una mayor prevalencia serológica por lo que deben considerarse estrategias dirigidas a la comprensión del fenómeno.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), al departamento de Patología del Instituto Federal del Ceará y al grupo de Estudio de Animales Silvestres de la Universidad Nacional de Colombia, por haber facilitado a cada uno de los autores, espacios de discusión y de búsqueda bibliográfica de la investigación.

## Literatura citada

1. Adler, B. & Faine, S. (2006) The genus Leptospira. *Prokaryotes 7:* 294–317.
2. Ashford, D., Kaiser R. & Spiegel R. (2000) Asymptomatic infection and risk factors for leptospirosis in Nicaragua. *Am J Trop Med Hyg. 63*: 249–54.
3. Ballard, S.A., Williamson, M., Adler, B., Vinh, T. & Faine, S. (1986). Interactions of virulent and avirulent leptospires with primary cultures of renal epithelial cells. *Journal of Medical Microbiology 21*, 59–67.
4. Barbosa, A., Abreu, P., Neves, F., Atzingen, M., Watanabe, M., Vieira, M., Morais, Z., Vasconcellos, S. & Nascimento, A.( 2006). A newly identified leptospiral adhesin mediates attachment to laminin. Infect. *Immun. 74* (11): 6356-64
5. Bevilacqua, P., Carmo, R., Silva, J. & Giudice, G. M. (2004). Roedores inventariados em hospital veterinário

e fragmento de mata nativa da Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil: caracterização populacional e infecção por Leptospira sp.. *Ciência Rural, 34*(5), 1519-1523

**6.** Bharti, A., Nally, J., Ricaldi, J., Matthias, M., Diaz, M., Lovett, M., Levett, P., Gilman, R., Willig, M., Gotuzzo, E .& Vinetz, J. (2003). Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. *The Lancet infectious diseases 3* (12): 757-71.

**7.** Blood, B., Szyfres, B. & Moya, V. (1963). Infección por Leptospira Pomona en la cavia de las Pampas (Cavia Pamparum). Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP); 54 (6):603-09.

**8.** Bovet, P., Yersin, C., Merien, F., Davis, C. & Perolat P.(1999). Factors associated with clinical leptospirosis: a population-based case-control study in the Seychelles (Indian Ocean). *Int J Epidemiol; 28*: 583–90.

**9.** Bunnell, J., Hice, C., Watts, D., Montrueil, V., Tesh, R. & Vinetz, J. (2000). Detection of pathogenic Leptospira spp. infections among mammals captured in the Peruvian Amazon Basin region; *Am. J. Trop. Med. Hyg. 63* 225–228.

**10.** Cerqueira, G. & Picardeau, M. (2009). A century of Leptospira strain typing. Infection, Genetics and Evolution. *Journal of Molecular Epidemiology and Evolutionary Genetics in Infectious Diseases 9* (5): 760–8.

**11.** Cespedes, Z.(2005). Leptospirosis: Enfermedad Zoonótica Emergente. *Rev. perú. med. exp. salud publica.22*, (4): 290-307.

**12.** Chinchilla, A., Boza, R. & Saenz, E. (1996). Leptospirosis en humanos. *Rev Cost. de Ciencias* Médicas.17 (2): 41-60.

**13.** Cordeiro, F. & Sulzer, A. (1981). Leptospira interrogans in several wildlife species in southeast Brazil, *Pesq. Vet. Bras. 1:* 19- 29.

**14.** Corrêa, S., Vasconcellos, S., Morais, Z., Teixeira, A, Dias, R., Guimarães, M., Ferreira, F. & Ferreira-Neto J. (2004). Epidemiologia da leptospirose em animais silvestres na Fundação Parque Zoológico de São Paulo. Braz. *J. Vet. Res. Anim. Sci. 41*:189-193.

**15.** Corwin, A., Ryan, A., Bloys, W., Thomas, R., Deniega, B. & Watts, D. (1990). A waterborne outbreak of Leptospirosis ocurred among US militar personnel in Okinawa, Japan. *Lnt J Epidemiol; 19*(3): 743-8.

**16.** Dooley, J. & Ishak, K. Leptospirosis. In: Binford CH, Connor DH. (1976). *Pathology of tropical and extraordinary diseases. 1:*101-106.

**17.** Enrietti, M. (2001). Contribuição ao Conhecimento da Incidência de Leptospiras em Murídeos Caninos e suínos no Paraná. Jubilee Volume (1946-2001) : 311 – 342

**18.** Faine, S., Adler, B., Bolin, C. & Perolat, P. (1999). Leptospira and leptospirosis. Melbourne, Australia.

**19.** Ganoza, C., Matthias, M., Collins-Richards, D., Brouwer, K., Cunningham, C., Segura, E., Gilman, R., Gotuzzo, E. & Vinetz, J. (2006). Determining risk for severe leptospirosis by molecular analysis of environmental surface waters for pathogenic *Leptospira. PLoS Med. 3(*8): 308

**20.** Gressler, L., Schafer Da Silva, L., Tonin, A., Azevedo, M., Tales, M. & González, S. (2009). New serovars of Leptospira interrogans in cavy (Cavia aperea) Brief Communication. *Comp Clin Pathol.19:*119–120.

**21.** Grune, S., Passaro, D., Samartino, L., Soncini, A., Romero, G. & Brihuega, B. (2014). Genotypes of Leptospira spp. strains isolated from dogs in Buenos Aires, Argentina. *Rev Argent Microbiol*.46(3):201-204.

**22.** Grune, S., Rago, V., Martínez, M., Uhart, M., Florin-Christensen, M., Romero, G. &Brihuega, B. (2015). Isolation of a Seawater Tolerant Leptospira spp. from a Southern Right Whale *(Eubalaena australis). PLoS Onev*.10(12): 1-10.

**23.** Kikuti, M., Langoni, H., Nobrega, D., Corrêa, A. & Ullmann, L. (2012). Occurrence and risk factors associated with canine leptospirosis. J Venom *Anim Toxins incl Trop Dis.*18 (1) : 124-127.

**24.** Levett, P. (2001). Leptospirosis. Clin. Microbiol. Rev. 14 (2): 296-326

**25.** Levett, P., Morey, R., Galloway, R. & Steigerwalt, A. (2006). Leptospira broomii sp. nov., isolated from humans with leptospirosis. Int. J. Syst. *Evol. Microbiol. 56* (3): 671-3.

**26.** Levett, P., Morey, R., Galloway, R., Turner, D., Steigerwalt, A. & Mayer, L. (2005). Detection of pathogenic leptospires by real-time quantitative PCR. *Journal of Medical Microbiology. 54*: 45–49.

**27.** Liceras, J. (1975). Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP); 410-421

**28.** Lilenbaum, W., Monteiro, R., Ristow, P., Fraguas, S., Cardoso, V. & Fedullo, L. (2002). Leptospirosis antibodies in mammals from Rio de Janeiro Zoo, Brazil. *Res Vet Sci, 73*:319–321.

**29.** Lins, Z. & Lopes, M. (1984), Isolation of Leptospira from wild forest animals in Amazonian Brazil. *Transactions of the royal society of tropical medicine and hygiene. 78:* 124-126.

**30.** Marder, G., Ruiz, R., Bottinelli, O., Peiretti, H, Zorzo, L., Merino, D., Czernik, G. (2008). Prevalencia de leptospirosis en roedores sinantrópicos de la Cuidad de Corrientes, Argentina. *Rev Vet. 19:* 150-153.

**31.** Matthias, M. & Levett P. (2002). Leptospiral carriage by mice and mongooses on the island of Barbados; *West Indian Med. J. 51*:10–13.

**32.** Méndez, C., Benavides, L., Esquivel A., Aldamal, A., Torres, J., Gavaldón, D. & Meléndez, P. & Moles, L. (2013). Pesquisa serológica de Leptospira en roedores silvestres, bovinos, equinos y caninos en el noreste de México *Rev. Salud Anim. 35*(1): 25-32.

**33.** Montes, D., Rivera, H., Ramírez, M., Ríos, P., Angulo, C. & Muñoz, K.(2011). frecuencia de infección por leptospira sp. en ardillas nucablanca (*sciurus stramineus*) en un zoológico de la ciudad de lima. *Rev Inv Vet* . 22(1): 66-71.

**34.** Morales, G., Guzmán, V. & Beltrán, L. (1978). Leptospirosis in Colombia: isolation of Leptospira spp. from the kidneys of brown rats (*Rattus norvegicus*) trapped on infected piggeries. *Trop Anim Health Prod.; 10*:121-3.

**35.** Musso, D. & Lascola, B. Diagnostic biologique de la leptospirose. (2013). *Revue Francophone Des Laboratoires Février. 449*: 39-46.

**36.** Ospina-Pinto, M. & Hernández, P. (2015). Utilidad de

las herramientas moleculares para la identificación de Leptospira spp. en muestras humanas, animales y ambientales. *Revista cubana de medicina tropical. 67*(3) versión electrónica.

**37.** Palaniappan, R., Chang, Y., Jusuf, S., Artiushin, S., Timoney, J., McDonough, S., Barr, S., Divers, T., Simpson, K., McDonough, P. & Mohammed, H. (2002). Cloning and molecular characterization of an immunogenic LigA protein of Leptospira interrogans. *Infect. Immun. 70* (11): 5924-30.

**38.** Percy, D. & Barthold, S. (2007), Pathology of laboratory rodents and rabbits. 3rd edition. Ames (IA): Blackwell Publishing Professional. p. 125–78.

**39.** Pereira, M. & Andrade, J. (1990). Human Leptospirosis in a slum area in the City of Rio de Janeiro, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz; 85*:47-52.

**40.** Petrakovsky, J., Bianchi, A., Fisun, H.,Nájera-Aguilar, P. & Pereira, M. (2014). Animal Leptospirosis in Latin America and the Caribbean Countries: Reported Outbreaks and Literature Review (2002–2014). Int. J. Environ. Res. 11(10): 10770-10789.

**41.** Picardeau, M., Brenot, A. & Saint Girons, I. ( 2001). First evidence for gene replacement in Leptospira spp. Inactivation of L. biflexa flaB results in non-motile mutants deficient in endoflagella. *Molecular Microbiology. 40*:189–199.

**42.** Piccardeu, M. (2013). Diagnosis and epidemiology of leptospirosis. *Médecine et maladies infectieuses. 43*: 1–9

**43.** Pumarola, A. & Rodríguez, A. (1992). Leptospira En: Perea EJ (ed). Enfermedades infecciosas y microbiología clínica. 2a ed. Barcelona: Doyma; 729-734.

**44.** Riedemann, S. & Zamora, X. (1982). Leptospirosis en pequeños roedores en el área rural de Valdivia, Zbl. *Vet. Med. B. 29:* 764- 768.

**45.** Sacsaquispe, C., Glenny, A. & Cespedes, Z. (2003). Estudio preliminar de leptospirosis en roedores y canes en salitral, Piura-1999. *Rev. perú. med. exp. 20(*1): 39-40.

**46.** Sandow, K. & Ramírez, W. (2005). Leptospirosis RED-VET. *Revista Electrónica de Veterinaria, VI Junio*.

**47.** Scialfa, E., Bolpe, J., Bardon, J., Ridao, G., Gentile, J. & Gallicchio, O. (2010). Isolation of Leptospira interrogans from suburban rats in Tandil, Buenos Aires. *Rev Argent Microbiol. 42*: 126-128.

**48.** Scialfa, E., Recavarren, M., Quintana, S. & Giamperetti, S. (2015). Comparison between real-time PCR, serology and culture in leptospirosis from samples of wild animals trapped in Buenos Aires Province Argentina. *Rev Argent de Zoonosis y Enfermedades Infecciosas Emergentes. 10*(2): 24-28.

**49.** Silva, E., Seyffert, N. & Jouglard, S. (2009). Soroprevalenciada de infeccao leptospiral em capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) abatidas em um frigorífico do Rio Grande do Sul. *Pesqui Vet Bras 29:*174–176

**50.** Terpstra, W. (1990). Enzymatic detection systems for Leptospiral antibodies, antigen and nucleic acids. WHO/FAO Collaborating Center for reference and Research on Leptospirosis. Holland.

**51.** Vanasco, N., Sequeira, M., Sequeira, G. & Tarabla, H. (2003). Associations between leptospiral infection and seropositivity in rodents and environmental characteristics in Argentina. *Prev Vet Med. 60*(3):227-235

**52.** WHO. (1986) Report of the WHO consultation the development of National Programmes for the prevention and control of Leptospirosis. Sapporo Japan 1984.

**53.** Zamora, J. (1998). Riesgo epidemiológico de la fauna silvestre en problemas de salud. X Congreso de Medicina Veterinaria, Simposios: 127- 151.

**54.** Zamora, J. Riedemann, S. (1999). Aislamiento y sobrevivencia de Leptospiras en tejido renal de roedores silvestres, *Arch. Med. Vet. 31*: 103-107.

**55.** Zamora, J., Riedemann, S. & Cabezas, X. (1995). Leptospirosis de los roedores silvestres en el área rural de valdivia. pesquisa de L. interrogans mediante inmunofluorescencia e inmunoperoxidasa, *Arch. Med. Vet. 27*: 115- 118.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 07 de abril de 2015
Aceptado: 12 de mayo de 2015

# Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano

## Biotechnology applied to colombian agricultural development

## *Biotecnologia aplicada ao desenvolvimento agricola colombiano*

**Sandra Patrícia Montenegro Gómez[1] & Yeni Katerine Hernández Ossa[2]**

[1]Licenciada en Biología y Química, Especialista en manejo y conservación de suelos y aguas, Magister en ciencias agrarias, énfasis suelos, Doctora en Ciencias área de concentración microbiología Agrícola. [2]Ingeniera Agrónoma, Especialista en Biotecnología Agraria.

[1, 2]Centro de Investigación de Agricultura y Biotecnología –CIAB. Dosquebradas, Risaralda. Colombia.

[1]sandra.montenegro@unad.edu.co, [2]ykhernandezo@unadvirtual.edu.co

### Resumen

Colombia tiene como objetivo para 2025, ubicarse entre los tres líderes del sector biotecnológico en América Latina, para lo cual requiere conectarse con las tendencias mundiales enmarcadas en el desarrollo de actividades de bioprospección que actúen en armonía con el entorno ambiental garantizando la seguridad alimentara. Por lo tanto las tendencias de consumo global en el mercado agrícola presentan nuevas oportunidades de negocios alrededor de bioinsumos, aditivos funcionales para alimentación animal, agricultura sostenible, bioremediación de suelos y aguas, reproducción *in vitro*, semillas mejoradas con biotecnologías de punta; direccionadas a mejorar la calidad, el rendimiento y reducir al mínimo el uso de prácticas agrícolas tradicionales que consumen energía y contaminan el medio ambiente. Colombia actualmente cuenta con varios centros de investigación y universidades con dotación y capacidades para adelantar investigaciones en tecnologías de avanzada, pese a que existen estudios importantes en el campo agrícola y pecuario, el alcance de la bioprospección en el país es bajo, en comparación a otros países latinoamericanos, como Brasil con más de 800 centros de bioprospección, Costa Rica con 43, Colombia se encuentra en gran desventaja con alrededor de 20 centros, por lo tanto el esfuerzo para ubicarse a la vanguardia en investigación biotecnologica es muy grande y se requiere del fortalecimiento en investigación básica y aplicada, apoyada en implementación de políticas institucionales de regulación y agilización de procesos biotecnológicos que desarrollen productos innovadores para que diferentes biotecnologías tengan éxito comercial, de acuerdo a los objetivos propuestos por el gobierno nacional.

**Palabras clave:** biotecnología, bioprospección, desarrollo agropecuario, sustentabilidad

### Abstract

Colombia aims to rank among the three leaders in the biotechnology sector in Latin America for 2025, which requires to connecting with global trends framed in the development of bioprospecting activities, in harmony with the environment and ensuring food safety. Therefore global consumer trends in

the agricultural market present new business opportunities regarding bioinputs, functional additives for animal feeding, sustainable agriculture, bioremediation of soil and water, *in vitro* reproduction, and improved seeds with high end biotechnologies; with the goal of improving the quality, performance and minimize the use of traditional agricultural practices which consume energy and pollute the environment. Colombia currently has several research centers and universities with resources and capabilities to conduct research regarding high end technologies and, even though there are significant research in the agricultural and livestock field, the scope of bioprospecting in the country is low compared with other Latin American countries, such as Brazil with more than 800 bioprospecting centers, Costa Rica with 43, Colombia is seriously disadvantaged with just about 20 centers, therefore a great effort to be at the forefront in biotechnology research is required; and the strengthening of basic and applied research is necessary based on implementation of regulation and speeding-up institutional policies of biotechnology processes that develop innovative products so biotechnologies have commercial success, according to the goals set by the national government.

**Key-words:** biotechnology, bioprospecting, agricultural development, sustainability

## Resumo

A Colômbia tem como objetivo para 2025 se posicionar entre os três líderes do setor biotecnológico em America Latina, para o qual é preciso fazer contato com as tendências mundiais enmarcadas no desenvolvimento de atividades de bioprospeção que trabalhem em armonia com o entorno ambiental garantindo a segurança alimentar. Portanto, as tendências de consumo global no mercado agrícola presentam novas oportunidades de negócios em torno a bioinsumos, aditivos funcionais para alimentação animal, agricultura sostenível, biorremediação de solos e águas, reprodução in vitro, sementes melhoradas com biotecnologias apropriadas que apontam a melhorar a qualidade, a produtividade e reduzir ao mínimo o uso de práticas agrícolas tradicionais que consumem energía e poluem o meio ambiente. A Colômbia atualmente conta com vários centros de pesquisa e universidades dotadas e com capacidade para conduzir pesquisas em tecnologías avanzadas; embora existam estudos importantes na área agrícola e pecuária, o alcance da bioprospeção no país é baixo quando comparado com otros países latinoamericanos como Brasil, o qual dispõe de mais de 800 centros de biopropeção, Costa Rica com 43, sendo que Colômbia apresenta desvantagem ao contar com em torno de 20 centros. Portanto, o esforço para se posicionar na vanguarda em investigação biotecnológica é muito grande e precisa do fortalecimento em pesquisa básica e aplicada, soportada na implementação de políticas institucionais de regulação e agilização de procesos biotecnológicos que desenvolvam produtos innovadores para que diferentes biotecnologias tenham êxito comercial conforme os objetivos propostos pelo governo nacional..

**Palavras-chave:** biotecnologia, bioprospecção, desenvolvimento agrícola, sustentabilidade

## Introducción

Las primeras aplicaciones de biotecnología agrícola se sustentan en cría selectiva mediante el uso de ingeniería genética para producir rápidamente animales y plantas con rasgos deseables. Los nuevos rasgos de la biotecnología agrícola tienen por objeto mejorar la calidad y el rendimiento y reducir al mínimo el uso de prácticas agrícolas tradicionales que consumen energía y contaminan el medio ambiente (Shmaefsky, 2013). Dentro de la clasificación de la biotecnología a través de colores, el color verde concentra estudios en agricultura, biotecnología ambiental, biocombustibles,

biofertilizantes, biorremediación y geomicrobiología (DaSilva, 2004). De acuerdo a lo planteado en la Agenda de Conocimiento - Universidad Nacional de Colombia (Chaparro *et al*., 2012) en concordancia con el Ministerio de Investigación, Ciencia y Tecnología de Nueva Zelanda, MoRST (MoRST, 2005), las tendencias mundiales hacia 2020 en biotecnología verde, se fundamentan en productos mejor balanceados. En lo que respecta a la parte pecuaria, suministrar a los animales alimentos con más concentración de aminoácidos y nutrientes que podrían proporcionar ventajas ambientales. En relación al campo vegetal, cultivos con mejores atributos nutricionales y resistentes a diversos estres ambientales; asociados a los cultivos, están los productos microbiológicos como biofertilizantes y bioplaguicidas.

Hasta ahora la mayor parte de la investigación básica en biotecnología agrícola y sus avances se ha fortalecido en países desarrollados; en contraste los países en desarrollo con la mayor variedad de la biodiversidad en el mundo, poco han trabajado en la caracterización de especies de plantas y animales para evaluar su potencial de producción y su capacidad para resistir a enfermedades y tensiones ambientales o para garantizar su conservación a largo plazo (FAO, 2004) Colombia busca reconocimiento como líder en el desarrollo, producción, comercialización y exportación de productos de alto valor agregado derivados del uso sostenible de la biodiversidad (Narváez, 2015), siendo el objetivo para 2025, posicionarse como uno de los tres líderes del sector biotecnológico en América Latina. En la Tabla 1 se presentan algunas biotecnologías relacionadas con el sector agropecuario con alta probabilidad de alcanzar el mercado en 2030. Las riquezas naturales colombianas, acentúan la importancia del desarrollo en biotecnología para sectores como el agropecuario (Buitrago, 2012), sin embargo, una de las cuestiones que se requiere afrontar en primer término es la baja capacidad para el desarrollo de actividades de bioprospección. Existen aproximadamente 20 centros de bioprospección moderna en Colombia, mientras que Brasil cuenta con más de 800 y Costa Rica con 43. Es patente que el desarrollo de este tipo de centros en Colombia está por debajo de sus capacidades. Por lo tanto se hace necesario la implementación de políticas institucionales de regulación y agilización de procesos biotecnológicos que desarrollen productos innovadores, estas son las claves para que diferentes biotecnologías tengan éxito comercial para el 2030 de acuerdo a la OECD (2009).

***Tabla 1.*** *Algunas biotecnologías relacionadas con el sector agropecuario con alta probabilidad de alcanzar el mercado en 2030.*

| Producción primaria | Salud | Industria |
|---|---|---|
| Uso generalizado de selección asistida por marcadores o genómica (MAS) en mejoramiento de plantas, ganado, peces y mariscos. | Muchos productos farmacéuticos nuevos y vacunas, basadas en conocimientos biotecnológicos, reciben aprobación de comercialización cada año. | Enzimas mejoradas para una amplia gama de aplicaciones en la industria química. |
| Variedades modificadas genéticamente (GMO) de los principales cultivos y arboles con mejor almidón, aceite y contenido de lignina para mejora de procedimiento industrial y producción. | Nuevos productos nutracéuticos, algunos de los cuales serán producidos por microorganismos modificados genéticamente y otros de plantas o extractos marinos | Mejora de los microorganismos que pueden producir un número mayor de productos químicos en un solo paso, algunos de los cuales se basan los genes identificados a través de la bioprospección |
| Variedades mejoradas de los principales cultivos alimenticios y forrajeros con mayor rendimiento, resistencia a las plagas y tolerancia al estrés generados mediantes GMO. MAS intragenésis o cisgenésis | Seguridad alimentaria por el incremento de producción y calidad de las cosechas. | Biocombustibles de alta densidad de energía producidos a partir de la caña de azúcar y fuentes de biomasa ricas en celulosa |
| Clonación de animales de alto valor genético y mejoramiento. | Productos de origen animal con alta calidad nutricional y funcional. | Producción de alimentos con materias primas de alta calidad nutricional. |

Fuente: Cotes *et al*. (2012)

Colombia cuenta con 153 firmas de base biotecnológica distribuidas en distintos sectores: en el sector agrícola 59 (38%), sector alimentos y bebidas alcohólicas 50 (33%), biocombustibles 12 (8%), sector farmacéutico 8 (5%), Universidades y Centros de Investigación 24 (16%), (Buitrago, 2012), (Figura 1). De acuerdo a lo reportado por Gonzales, Villa Latorre & Bravo (2010) y Angarita (s. f.), el 54%, de los grupos y centros de investigación colombianos enfocados en biotecnología trabajan en el ámbito agropecuario, indicando que la industria agropecuaria colombiana representa una gran oportunidad para que el país dé un importante salto económico y social (Narváez, 2015).

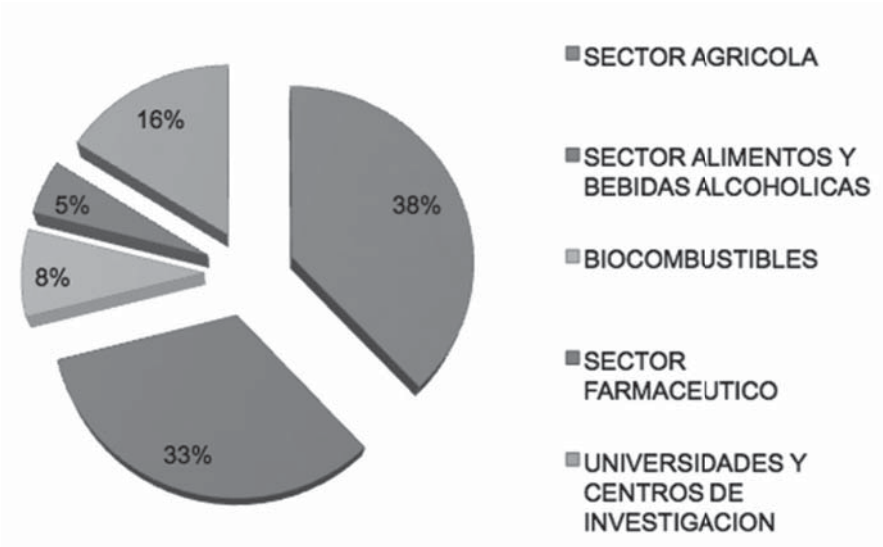


**Figura 1.** Distribución del peso sectorial de la biotecnología en Colombia según el número de empresas.
Fuente: Narváez, (2015) con datos del informe INNpulsa-SILO

**Beneficios de la biotecnología para el agro colombiano**

Colombia es un país mega-diverso, pero es muy poco lo que se ha utilizado de esta riqueza para el desarrollo del sector agropecuario y la generación de bienes y servicios biotecnológicos, Narváez (2015), no obstante ha venido avanzando paulatinamente tanto en el campo agrícola como pecuario.

***Sector agrícola***

Entre las grandes tendencias de consumo en el mundo, el mercado agrícola presenta nuevas oportunidades de negocios alrededor de bioinsumos, aditivos funcionales para alimentación animal, agricultura sostenible, bioremediación de suelos y aguas, reproducción *in vitro*, semillas mejoradas con biotecnologías de punta (transgénicos o selección asistida por genómica). Colombia ha progresado paulatinamente en el establecimiento de colecciones de recursos biológicos de manera *ex situ* e *in situ*, a través de la promoción y apoyo de bancos de germoplasma que conservan recursos genéticos (Cotes *et al.*, 2012). En el año 2002, Colombia ingresó a la lista de los países que utilizan los cultivos Genéticamente Modificados (GM), con la siembra del clavel azul. En el año 2003 fue aprobado el algodón GM y, en el 2007, el maíz GM fue sembrado por primera vez en el país bajo el esquema de siembras controladas. A finales del año 2009, Colombia aprobó la siembra comercial de rosas azules. Entre los cultivos mencionados el maíz representa la mayor distribución en el territorio colombiano (Figura 2). Actualmente el Centro de Agricultura Tropical CIAT, adelanta proyectos de investigación con GM en yuca, arroz y pastos; el Centro de Investigaciones Biológicas CIB, junto con la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín trabajan investigación en papa, el

Centro Nacional de Cafeteros CENICAFE y el Centro Nacional de Investigación en caña de azúcar CENICAÑA trabajan investigaciones en café y caña respectivamente (Agrobio, 2014).

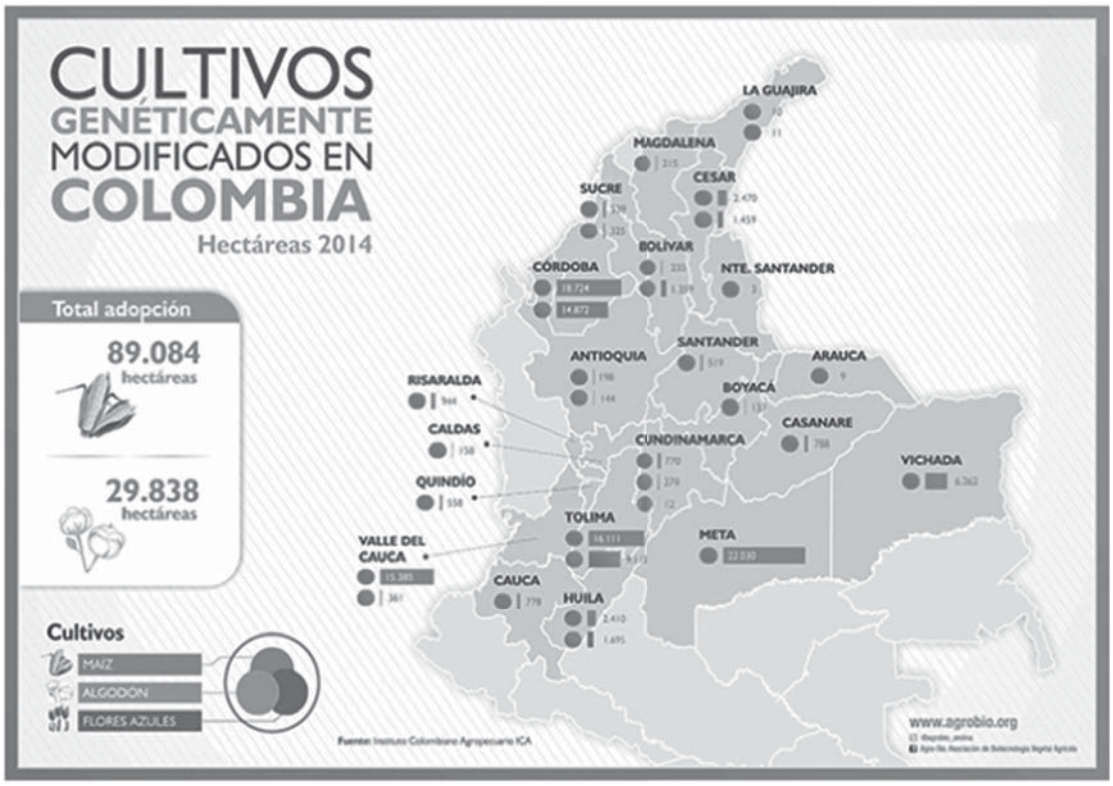


**Figura 2.** Distribución regional de cultivos genéticamente modificados en Colombia en el año 2014. Fuente: Agrobio (2014).

**Algunas investigaciones destacadas en cultivos agrícolas y especies forestales**

**Arroz** (*Oryza sativa*): El centro internacional de agricultura tropical (CIAT) ha venido adelantando variados estudios de transformación genética en diferentes especies de importancia económica en Colombia. El cultivo del arroz es afectado por diferentes enfermedades, plagas y factores climáticos, uno de las afectaciones principales es el virus de la hoja blanca trasmitido por un insecto vector *Tagosodes orizicolus,* la investigación realizada por Fory *et al*. (2002) se basó en adicionar una nueva fuente de resistencia en algunas variedades, se tomaron callos de panículas inmaduras de variedad indica Cica 8 a la cual se le insertó el gen de la N-proteína de RHBV por medio de plásmido pVR3 con la técnica bombardeo de partículas de oro recubiertas de ADN, el ensayo se realizó en invernaderos donde se usaron insectos virulentos. La evaluación se basó en el nivel de resistencia, área foliar afectada, vigor de la planta y severidad de los síntomas; se observó una resistencia estable conferida por N-proteína y la protección en edad temprana, "Se observaron muchas reacciones de resistencia incluyendo la producción de lesiones localizadas conocidas como una reacción de resistencia hipersensitiva. Los resultados a nivel de campo indican que la resistencia transgénica al RHBV puede ser utilizada para complementar las fuentes naturales de resistencia al virus" (Fory *et al*., 2002).

**Caña de azúcar** (*Saccharum officinarum*): El centro de investigación de la caña de azúcar (CENICAÑA) ha adelantado estudios en la creación de una caña genéticamente modificada, que tenga tolerancia al virus de la hoja amarilla. La investigación para una variedad GM CC84-75 se

comenzó hace un poco más de 10 años, se realizó el procedimiento en laboratorio y en invernadero para tener un mejor control de bioseguridad; las plantas se llevaron a campo donde se realizó su seguimiento, este proceso fue la primera parte de la investigación se lograron obtener 46 plantas en el invernadero pero sólo 11 plantas pasaron a campo midiéndolas en dos ciclos de cultivo mostrando una diferencia poco significativa debido a que. "la población del virus en el momento cancerosas no causó el daño económico que se esperaba, y el lugar donde se realizaron las pruebas no era foco del virus" (AGROBIO, 2006). La segunda parte de la investigación se comenzó aproximadamente dos años después, se buscó validar la información y observar cuan estables son los transgenes para posteriormente dar a conocer a los demás países productores las posibilidades de la caña GM con la variedad CC85-92, y conferir resistencia a bacterias presentes en el cultivo, ninguna de estas cañas se comercializa actualmente.

**Papa** (*Solanum tuberosum*)**:** Colombia es uno de los principales países que cultiva la papa amarilla y las plagas o enfermedades afectan la producción de este cultivo ocasionando grandes pérdidas para los agricultores. La Universidad Nacional de Colombia, junto a la Universidad McGill desarrollaron un estudio para el desarrollo de nuevas variedades de papa amarilla con mejor rendimiento, cualidades agronómicas, cualidades nutricionales, contenidos de compuestos benéficos para la salud y resistencia a gota. Además, se identificaron varios genes en papa involucrados en la resistencia a gota y compuestos con capacidad importante para disminuir el crecimiento de células cancerosas. Estos son los primeros cultivares de papa que propenden por la calidad nutricional en Colombia con mayor contenido de proteína y de minerales como hierro y zinc (Narváez et al., 2014).

La Corporación para Investigaciones Biológicas ubicada en Medellín viene realizando estudios para crear una línea de papa transgénica resistente a la polilla guatemalteca, que es una de las plagas de mayor importancia económica en Colombia, las investigaciones para la obtención de estas líneas llevan 12 años. En este caso se tomó la bacteria *Bacillus thuringiensis* para transformar las plantas genéticamente, se comenzó con siete materiales comerciales de los cuales sólo dos han mostrado potencial de resistencia a la polilla, estas son las variedades parda pastusa y Diacol Capiro R12; "esto significa que esas plantas han superado todas las pruebas moleculares, biológicas, químicas, inmunológicas realizadas hasta al momento y han demostrado hasta un 100% de resistencia a la plaga, pues han sido expuestas a un nivel alto de incidencia de plaga y logran resistir completamente" (AGROBIO, 2011). Estas líneas no están en el mercado debido a que faltan pruebas y la aprobación para producirse comercialmente.

**Yuca** (*Manihot esculenta*): El CIAT, adelanta seis proyectos de investigación científica en GM, con intención de convertirla en un cultivo altamente industrializado y productivo. Los seis proyectos son: modificación de las características del almidón, reducción de cianuro, enriquecimiento en pro-vitamina A en la raíz, control de floración, aumento en la materia seca y producción de etanol como biocombustible (AGROBIO, 2014)

**Pastos** *(Brachiaria y Styozantes)*: El CIAT, trabaja en estas especies de pasto GM. actualmente se realizan estudios de transformación genética para mejoramiento a través de técnicas de ingeniería genética y manejo confinado (AGROBIO, 2014)

**Melina** *(Gmelina arbórea*): la melina es una especie de origen asiático, por su amplia adaptabilidad ha sido introducida en países tropicales, posee alto contenido proteico a nivel foliar, se le considera buen forraje para el ganado y sirve de alimento para el gusano de seda. La Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Colombia implementó estudios en revigorización y establecimiento in-vitro por medio de cultivos vegetales, el estudio se basó en el rejuvenecimiento fisiológico del material adulto y su establecimiento in-vitro (Yepes, 2006).

**Nogal** (*Juglans regia*): La Universidad Tecnológica de Pereira en el año 2011 realizó un estudio sobre la caracterización de la variabilidad genética de progenies del nogal, se estudiaron setenta plantas pertenecientes a la estación de mejoramiento en CENICAFE, los resultados de este estudio servirán de guía para la conservación de esta especie (Marulanda, et.al, 2011).

**Guadua** (*Guadua* spp.) Uno de los recursos fitogeneticos más representativos del país. En torno esto la Universidad Nacional de Colombia y la Sociedad Colombiana de Bambú realizaron una caracterización molecular de la *Guadua angustifolia* Kunt por medio de marcadores moleculares RAMs. Se seleccionaron nueve materiales de la zona del eje cafetero por sus características morfológicas y físico-mecánicas. Los resultados obtenidos mostraron que los materiales recolectados de la zona de Pereira no se diferencian genéticamente y pueden ser reproducidos vegetativamente mientras que los de la zona de Palestina (Caldas, Colombia) divergen de las demás zonas; la conclusión final muestra que hay una alta diversidad genética y debido a esta variabilidad se puede pensar en un mejoramiento genético de la especie (Rugeles, Posso, Londoño, Barrera & Muñoz, 2012).

**Sector pecuario**

En el sector pecuario se han realizado grandes avances en la obtención de razas mejoradas, en las cuales se busca un mejor rendimiento de carne, leche y sus derivados; a partir de la clonación de especies con el fin de conservar las características genéticas. Mejorar la alimentación que suministre una adecuada nutrición y resistencia a enfermedades propias de los galpones evitando el uso de la aplicación de hormonas y antibióticos; o con el mejoramiento de las razas avícolas por medio de la transferencia embrionaria que proporcione una resistencia a los cambios climáticos, enfermedades y el tipo de objetivo de producción. En busca del mejoramiento animal se investiga la preservación de los bosques nativos implementando especies arbóreas que sirvan para la alimentación animal. La utilización de la biotecnología ayuda a reducir las importaciones de alimentos y contribuye a disminuir el impacto negativo al medio ambiente con nuevas estrategias de producción pecuaria mediante el diagnóstico, control de enfermedades y la adaptación a los cambios climáticos. En el área animal los avances investigativos se dan con el objetivo de mejorar la producción, creación de vacunas, mejorar las especies ganaderas y clonación manejando la inseminación artificial o implantación de genes.

**Algunas investigaciones destacadas en el sector pecuario**

**Avicultura:** se han desarrollado diferentes estudios para el mejoramiento de la alimentación y así evitar el uso de antibióticos en la cría de estos animales; uno de los estudios realizados fue en la Universidad del Cauca con la incorporación de quinua en la dieta nutricional de pollos de engorde. En el estudio se utilizaron 128 pollos machos Ross 308 a los cuales se les incorporó en la dieta diferentes niveles de quinua. Como resultado se encontraron diferencias en los indicadores de conversión alimentaria, eficiencia alimenticia y rendimiento del canal, en cuanto a la ganancia de peso no se observaron diferencias significativas. En cuanto a los resultados económicos se encontró que “el tratamiento con 5% de inclusión de quinua representa la mayor rentabilidad siendo un 116% superior al tratamiento control, obteniendo rendimientos productivos similares a los obtenidos con un concentrado comercial a un más bajo costo” (Mosquera, Portilla & López, 2009).

**Ganadería:** uno de los mayores avances se dio a finales del año 2014, cuando nació el primer animal clonado en Colombia en el departamento de Córdoba, este avance se logró por medio de los laboratorios Genescol, se tomó un trozo de piel de la cola de una búfala llamada Lola, este proceso fue realizado un año atrás, se tomó un ovulo al cual le fue extraído el núcleo y se realizó la implantación del núcleo de una célula tomada del trozo de piel. Durante el experimento se realizó el proceso en diferentes búfalas pero solo una culminó con el nacimiento de Lolita.

**Porcicultura**: la Universidad Nacional de Colombia logró las primeras crías porcinas con inseminación artificial a partir de semen congelado de diez reproductores donde se logró inseminar a cuatro cerdas. A los 33 días se les hizo ecografía y todas estaban gestando. Después de 312 días, nacieron cuatro camadas, dos de once y dos de siete cerdos, tras una gestación que transcurrió normalmente (Echavarría, 2015).

La aplicación de la biotecnología animal hacia el campo ambiental abre la posibilidad de crear animales que produzcan menor cantidad de daños al ambiente. "El ejemplo más conocido de ese caso es el *enviropig*TM, un porcino que tiene la capacidad de digerir el fitato de las plantas y de esa forma, liberar menos fosfato en las heces y consecuentemente menos polución ambiental" (Kues & Niemann, 2004).

**Piscicultura.** La Universidad del Cauca en la Facultad de Ciencias Agropecuarias en el año 2011 realizó una evaluación de ensilaje biológico de residuos de pescado en alimentación de tilapia roja, el lugar del estudio fue en la represa La Salvajina donde ha incrementado los residuos de la producción piscícola, posteriormente se distribuyeron las diferentes dietas en cuatro grupos al 10, 20, 30% de ensilaje, y un testigo; como parámetros de evaluación tomaron la digestibilidad aparente y parámetros zootécnicos. Los resultados mostraron que en los parámetros zootécnicos hay diferencias significativas en talla, peso y conversión alimenticia en los tratamientos a los cuales se les añadió el ensilaje siendo "la dieta con inclusión del 30% de ensilaje biológico de residuos de pescado presentó ganancia de peso, incremento en talla y conversión alimenticia significativamente mayor con respecto a los tratamientos evaluados, relacionado probablemente a los altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados" (Perea, Garcés & Hoyos, 2011). Por su parte, la Universidad del Valle realizó un estudio de bacterias que conservarían la carne de pescado para evitar la pérdida que genera la pesca excesiva y posteriormente contamina los mares ya que los desechos son arrojados nuevamente al mar, las bacterias escogidas para el proyecto son bacterias lácticas, éstas permiten preservar el pescado para la preparación de pasta e hidrolizado de pescado; las bacterias fueron seleccionadas en peces (cardumas, aguja, tamboreros) de la costa pacífica colombiana, se extrajeron sus intestinos donde se encuentran las bacterias para aislar 30 cepas y escoger 3 con mayor capacidad de producción de bacteriocinas; las cepas se siembran en un cultivo puro para elaborar un inoculo direccionado a fermentación bacteriana en dos o tres semanas y finalmente obtener el hidrolizado y pasta de pescado. Este proceso también ha sido empleado para la conservación de verduras, dando como resultado un producto similar al *Kimchi* coreano; que consiste en verduras fermentadas que se conservan frescas pues no han sido cocinadas y no se les han adicionado preservativos como en el caso de los encurtidos" (Pedraza, 2001).

**Desafíos biotecnológicos para fortalecimiento sustentable del agro colombiano**

En la Figura 3 se plantean cinco aplicaciones de la apuesta estrategica del gobierno colombiano en materia de desarrollo biotecnológico, sustentandose en el aprovechamiento de la biodiversidad, y el uso de la bioprospección en la exploración e identificación sistemática de los recursos biológicos con potencial uso en actividades comerciales (Gómez *et al*., 2013), este panorama permite visualizar de forma positiva el futuro de aplicación sustentable de la biotecnología agropecuaria, enmarcada dentro de las tendencias mundiales citadas a continuación:

- Alimentos saludables, naturales, con buena apariencia y alta calidad nutricional
- Productos 100% naturales. Reducción del uso de aditivos e ingredientes químicos
- Productos frescos y de larga duración o mínimamente procesados.
- Agricultura libre de agroquímicos - Ecológica
- Alimentos funcionales, fortificados, enriquecidos, con altos contenidos de fibra, dietéticos, y energéticos.

- Interés por productos sofisticados, y buena disposición frente a la variedad y lo exótico con responsabilidad hacia el medio ambiente y la ecología.
- Utilización de la biotecnología para mejorar características nutricionales.

De acuerdo a lo aquí citado la biotecnología actualmente debe propender a la sustentabilidad a partir de prácticas de conservación de los recursos y en pro del bienestar de todos los seres vivos (Narváez, 2015).

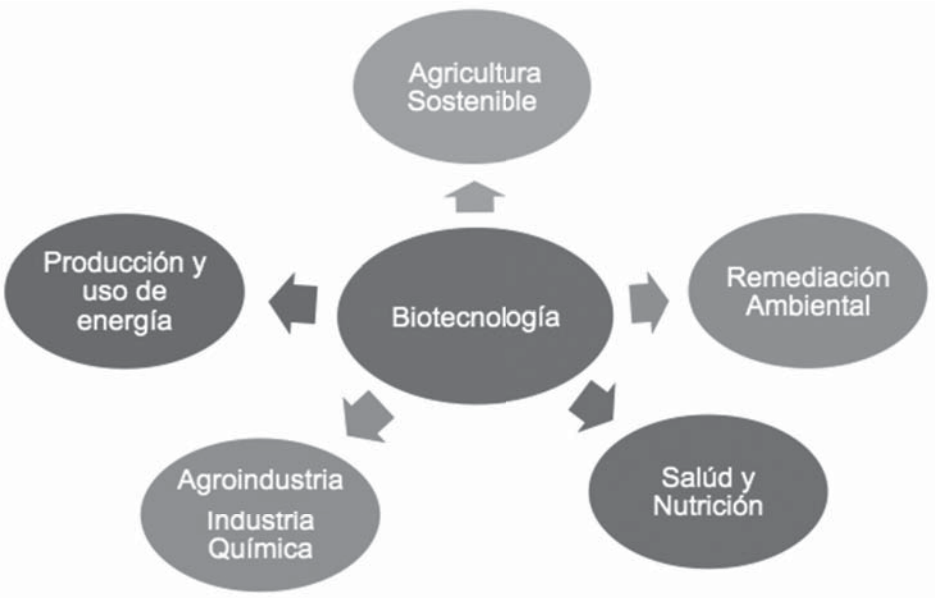


**Figura 3.** Apuesta estratégica para el sector biotecnológico del gobierno colombiano

Fuente: (Gómez *et al*., 2013), adaptado del Departamento Nacional de Planeación - PND 2010-2014.

De acuerdo a la publicación de Nieto & Giraldo (2015) las líneas de acción propuestas por el Programa Nacional de Biotecnología de la política nacional de ciencia, tecnología e innovación de Colombia, no están conectadas correctamente a las tendencias mundiales, lo que significa que es necesario reorientar directrices de las políticas nacionales para que confluyan en una sola dirección encaminada a una producción agropecuaria sustentable. Es un reto para Colombia promover el fortalecimiento del agro colombiano, fundamentalmente para el propio bienestar de sus habitantes y de acuerdo a las tendencias mundiales garantizar la seguridad alimentaria usando como herramienta la investigación en biotecnología, incluyendo sistemas de producción animal en pro del abastecimiento de la demanda proteica; bioprocesos y bioproductos (con macro y microorganismos) relacionados con la creciente demanda de productos con prácticas agrícolas biológicamente racionales; la agrobiodiversidad, en relación con su conservación, uso sostenible y las políticas de acceso y distribución equitativa de beneficios (OECD, 2011). Aplicando de forma responsable las herramientas de desarrollo biotecnológico, Colombia podría salir del mapa del hambre que de acuerdo a la FAO para 2014-16, ubica al país con una población subalimentada del 8.8 % estimada en la categoría de moderadamente baja (FAO, 2015); esto corresponde a 4.4 millones de personas, lo cual no es substancial en términos de disminución a lo largo de los años, si se compara con el periodo 1990-1992 donde esta población sumaba 5 millones (Montenegro & Rosales, 2015).

## Conclusión

Considerando que la biotecnología aplicada al sector agroindustrial es la que presenta un mayor desarrollo en Colombia en comparación a otros subsectores, podría visualizarse de forma positiva el futuro de la aplicación sustentable de la biotecnología agropecuaria enmarcada dentro de las tendencias mundiales, no obstante se requiere de esfuerzos significativos en investigación básica y aplicada que coloquen a Colombia a la vanguardia del desarrollo biotecnológico agropecuario.

## Literatura citada


1. AGROBIO. (2006). Investigación en caña GM para protegerla contra virus y enfermedades. CENICAÑA. Recuperado de: http://www.agrobio.org/bfiles/fckimg/Agro-Bio_Especial_investigacion_cana_GM_Cenicana_Jershon%20L%C3%B3pez.pdf
2. AGROBIO. (2011). Ahora la polilla guatemalteca tendrá miedo de atacar a la papa. Recuperado de: http://agrobio.org/bfiles/fckimg/Especial%20PAPA%20GM.pdf
3. AGROBIO. (2014). Transgénicos en el mundo / Región Andina / Colombia. Recuperado de: http://agrobio.org/fend/index.php?op=YXA9I2JXbDQmaW09I016UT0=
4. Angarita Bautista, L.J. (sf). Características de la biotecnología. Recuperado de: https://es.scribd.com/doc/3288567/CARACTERISTICAS-DE-LA-BIOTECNOLOGIA
5. Buitrago Hurtado, G. (2012). Tres décadas de biotecnología en Colombia. Coomb. *Biotecnol. Vol 14*. n 2. p. 5-6. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n2/v14n2a01.pdf
6. Cotes Prado, A. M., Barrero Meneses, L. S., Rodríguez Villamizar, F., Zuluaga Mogollón, M. V. & Arévalo Martínez, H. (2012). Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia. Bogotá CORPOICA. 195 p.
7. Chaparro Giraldo, A., Cardona, C. A., Orrego, C. E., Alzate, F. C., Yepes Rodrigues, L., Serna Cock, L. & Ospina Sánchez, S. (2012). Agendas de conocimiento agenda: biotecnología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1ª Edición.
8. DaSilva, E.J. (2004). The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. *Electronic Journal of Biotechnology*, *7*(3), 01-02. Recuperado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-34582004000300001&lng=es&tlng=e.
9. Departamento Nacional de Planeación 2010-2014 "prosperidad para todos". Recuperado de: https://www.dnp.gov.co/Paginas/inicio.aspx
10. Echavarría, A. (2015). Primeras crías porcinas de semen congelado. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/112/11.html
11. FAO (2004). The state of food and agriculture. Series No. 35. 207 p. [online]. Recuperado de: http://www.fao.org/docrep/006/y5160e/y5160e07.htm
12. FAO (2015). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo- mundial del hambre. [online]. Recuperado de: http://www.fao.org/hunger/es/
13. Fory, L., Tabares, E., Lozano, I., Mora, A., Delgado, G., Agrono, T., Ordoñez, C., Duque, M.C., Calvert, L. & Lentini, Z. (2002). Arroz transgénico con resistencia al Virus de la Hoja Blanca del Arroz (RHBV) en campo. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Recuperado de: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_CIAT/poster_transgenico.pdf
14. Gomez, C., H., Benavides, C., P., Osorio Morales, D. & Cuervo, M., A. (2013) Plan de Acción estrategico Sector Bio de Manizales. Fundación Universidad Empresa Estado del Eje Cafetero. Recuperado de: http://alcaldiamanizales.gov.co/dmd/tic/Plan%20de%20Accion%20Estrategico%20del%20Sector%20Bio%20Manizales.pdf
15. Gonzales, C. A., Villa Latorre, J. M. & Bravo, J. E. (2010). La biotecnología como visión de empresa. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *8*(1), 83-92. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612010000100011&lng=en&tlng=es
16. Kues, W. A. & Niemann, H. (2004). The contribution of farm animals to human health. Trends in Biotechnology, v. 22, p. 286-297. Recuperado de: http://www.ufrgs.br/depbiot/discipl/BIO12012/farm%20animals.pdf
17. Marulanda, M., López, A., Uribe, M. & Ospina, C. (2011). Caracterización de la variabilidad genética de progenies de *Cordia alliodora* (R. y P.) Oken. *Revista Colombia forestal*. Vol. 14(2). Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392011000200001
18. Montenegro Gómez, S. P. & Rosales-Escarria, M. (2015) Fruto de naidi (Euterpe oleracea) y su perspectiva en la seguridad alimentaria colombiana. *Entramado. Junio - Diciembre, vol. 11*, no. 2, p. 200-207, http://dx.doi.org/10.18041/ entramado.2015v11n2.22238.
19. MoRST. (2005). FutureWatch: Biotecnologies to 2025. New Zeland: Ministry of Research, Science & Technology of New Zeland.
20. Mosquera, M., Portilla, S. & López, F. (2009). Evaluación del efecto nutricional de quinua (*chenopodium quinoa* willdenow) con diferentes niveles de inclusión en dietas para pollos de engorde. *Revista Biotecnológica Agropecuaria. Vol. 7* (1). Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612009000100010&script=sci_arttext
21. Narváez, A., (2015). El mercado de la biotecnología en Colombia. Embajada de España en Bogotá. 94 p.
22. Narváez Cuenca, C. E.; Restrepo, L. P.; Benavidez, D.; Bonierbale, M.; Del Castillo, S. E.; DeKöeyer, D.; Thai,

H.; Kushalappa, A. Kubow, S.; Oxhorn, P.; Perilla, L.; Cuellár, D.; Rodríguez, L. E.; Tinjaca, S. & Mosquera, T. (2014). nuevos cultivares de papa amarilla con altos rendimientos y contenido nutricional para mejorar el bienestar de comunidades nativas de nariño-colombia en: Eje la Universidad y el desarrollo rural- Foro extención UN, Desarrollo rural en Colombia 85 p. Recuperado de: http://argus.iica.ac.cr/Esp/regiones/andina/colombia/Documentos%20de%20la%20Oficina/Foro_Relaser/Documentos_interes/Memorias-Foro%20UN_Parte_2.pdf

**23.** Nieto Gómez, L. E. & Giraldo Díaz, R. (2015). Tendencies of biotechnology, innovation and development in Colombia. *Revista Luna Azul*, 41, 348-364. Recuperado de: http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&tas k=view&id=1070

**24.** Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2011) "Challenges for Agricultural Research." [on line]. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/9789264090101-en. 301p.

**25.** Organisation for Economic C-operation and Development (OECD) (2009) "The bioeconomy to 2030 Designing a Policy agenda." Challenges for Agricultural Research. [on line]. Recuperado de: www.sourceoecd.org/generaleconomics/9789264038530

**26.** Pedraza, C. (2001). Bacteria para conservar la carne de pescado. Agencia universitaria de periodismo científico. Recuperado de: http://aupec.univalle.edu.co/informes/abril01/peces.html

**27.** Perea, C., Garcés, Y. & Hoyos, J. (2011). Evaluación de ensilaje biológico de residuos de pescado en alimentación de Tilapia roja (O*reochromis* spp). *Revista biotecnología agropecuaria. Vol. 9* (1). Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612011000100008

**28.** Rugeles, P., Posso, A., Londoño, X., Barrera, N. & Muñoz, J. (2012). Caracterización molecular de *Guadua angustifolia* Kunth mediante marcadores moleculares RAMs. *Revista colombiana de biotecnología. Acta agronómica.* Recuperado de: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/38132/40301

**29.** Shmaefsky, Brian R. (2013). Agricultural Biotechnology: History, Science, and Society. Bibliographic Essay. CHOISE. p. 199-208.

**30.** Yepes, A. (2006). Revigorización y establecimiento *in vitro* de Gmelina arbórea Roxb. V. mediante cultivo de tejidos vegetales. Revista de la universidad distrital Colombia forestal. Vol. 9 (19). Recuperado de: http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3351/4861

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 27 de enero de 2015
Aceptado: 02 de marzo de 2015

# Resistencia a los antibióticos beta-lactámicos Carbapenems mediada por el *gen bla*$_{KPC}$ en *Klebsiella pneumoniae*

# Resistance to beta-lactam antibiotics Carbapenems mediated *bla*$_{KPC}$ gene in *Klebsiella pneumoniae*

## *A resistência aos antibióticos beta-lactâmicos Carbapenems mediada gene bla*$_{KPC}$ *em Klebsiella pneumoniae*

**Aura Dayana del Carmen Falco Restrepo[1] & Carlos Andrés Aranaga Arias[2]**

[1]Bióloga. Doctora en Ciencias, mención Microbiología. [2]Biólogo, Magister en Microbiología.

[1]Centro de Investigación de Agricultura y Biotecnología – CIAB. Dosquebradas, Risaralda. Colombia.[2]Laboratorio de Genética Molecular. Centro de Microbiología y Biología Celular. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. San Antonio de los Altos. Venezuela.

[1]aura.falco@unad.edu.co, [2]bioaranaga01@gmail.com

## Resumen

Los carbapenems son antibióticos β-lactámicos de amplio espectro que se utilizan como terapia de primera línea para tratar pacientes con infecciones graves. Actualmente, la resistencia a carbapenems se asocia con la presencia de β-lactamasas capaces de hidrolizar estos antibióticos. La carbapenemasa de clase A más común es KPC, la cual es codificada por el gen *bla*$_{KPC}$ que generalmente, se encuentra ubicado en plásmidos. La selección y la rápida propagación de aislados de *Klebsiella pneumoniae* portadores de estas carbapenemasas se ha convertido en un problema de salud pública a nivel mundial. Esta mini-revisión describe uno de los mecanismos más frecuentes de resistencia a carbapenems como lo son las enzimas carbapenemasas tipo KPC. Además se describen las variantes del gen *bla*$_{KPC}$ así como el elemento genético móvil, el transposón *Tn*4401, el principal responsable de su diseminación entre géneros y especies bacterianas diferentes. Finalmente se hace una pequeña revisión cronológica de los reportes de la enzima KPC a nivel mundial.

**Palabras clave: r**esistencia, Carbapenems, KPC, *Klebsiella pneumoniae.*

## Abstract

The β-lactam carbapenems are broad-spectrum antibiotics used as first-line therapy to treat patients with serious infections. Currently, carbapenems resistance is associated with the presence of β-lactamases capable of hydrolyzing these antibiotics. The most common carbapenemase A class is KPC, which is encoded by *bla*$_{KPC}$ generally located in plasmids. The selection and quick spread of *Klebsiella pneumoniae* isolates carriers of these carbapenemases has become a public health problem worldwide. This mini-review describes one of the most frequent mechanisms of carbapenems resistance, the KPC enzymes. In addition, *bla*$_{KPC}$ variants and mobile genetic element, the transposon *Tn*4401, responsible for its dissemination among different bacterial genera and species were described. Finally, a small chronological review of the KPC reports worldwide was conducted.

**Key-words: r**esistance, Carbapenems, KPC, *Klebsiella pneumoniae*.

## Resumo

Os carbapenemos β-lactâmicos são antibióticos de largo espectro que são utilizados como terapia de primeira linha para tratar pacientes com infecções graves. Atualmente, a resistência carbapenemos está associada com a presença de β-lactamases, capazes de hidrolisar estes antibióticos. O carbapennems de classe A mais comum é KPC, a qual é codificada pelo gene $bla_{KPC}$ que geralmente está localizado em plasmídeos. A seleção e rápida disseminação de isolados de *Klebsiella pneumoniae*, portadores destas carbapenems, tornou-se um problema de saúde pública a nível mundial. Esta revisão descreve um dos mecanismos mais comuns de resistência a carbapenems, tais como as enzimas carbapenemasas tipo KPC. Além disso, descreve as variantes do gene $bla_{KPC}$ bem como o elemento genético móvel, o transposon Tn4401, principal responsável da sua disseminação entre gêneros e espécies bacterianas diferentes. Finalmente foi feita uma revisção cronológica dos relatórios da enzima KPC a nível mundial.

**Palavras-chave:** resistência, Carbapenems, KPC Klebsiella pneumoniae.

## Introducción

Los beta-lactámicos son los antibióticos más utilizados en el mundo para combatir infecciones causadas por enterobacterias e incluyen las penicilinas, cefalosporinas, monobactames y carbapenems. De esta familia de antibióticos, los carbapenems han sido los antibióticos de mayor actividad, evadiendo la mayoría de los mecanismos de resistencia bacteriana, y generalmente se reservan para el tratamiento de infecciones graves o para aquellas causadas por organismos resistentes a otros antibióticos beta-lactámicos (Suárez, Kattán, Guzmán & Villegas, 2006). Sin embargo, la resistencia a carbapenems ha aumentado considerablemente en los últimos años y su diseminación es una emergencia de salud pública a nivel mundial. En muchos de estos casos, la resistencia es causada debido a que las bacterias son portadoras de genes que codifican para beta-lactamasas tipo KPC (Nordmann, 2014. Nordmann, Naas & Poirel, 2011). Generalmente las bacterias resistentes a carbapenems, y que producen este tipo de enzimas, son susceptibles a muy pocos antibióticos motivo por el cual están asociadas a altos niveles de mortalidad, especialmente en pacientes con infecciones en sangre (Munoz-Price *et al*., 2013). Además de ser resistentes a todos los antibióticos betalactámicos disponibles en el mercado, las bacterias portadoras de los genes $bla_{KPC}$ suelen tener una alta tasa de dispersión debido a que se encuentran en elementos genéticos móviles como el transposón *Tn*4401, que a su vez se encuentra en plásmidos transferibles (Pereira *et al*., 2013. Naas *et al*., 2008). Este artículo describe los tipos de carbapenem utilizados para el control de infecciones clínicas, los alelos $bla_{KPC}$ descritos a la fecha junto con su principal elemento móvil *Tn*4401.

### Carbapemens

Los Carbapenems son antibióticos beta-lactámicos que actúan inhibiendo la síntesis de la pared celular bacteriana. En términos generales, estos antibióticos entran en las bacterias Gram-negativas a través de proteínas de la membrana externa, también conocidas como porinas. Después de atravesar el espacio periplásmico, se unen a Proteínas de Unión a Penicilinas denominadas PBP (por sus siglas en inglés), inhibiendo la formación del peptidoglicano en la pared celular de las bacterias (Papp-Wallace, Endimiani, Taracila & Bonomo, 2011). Son recomendados para el tratamiento empírico de una variedad de infecciones

graves, por ejemplo, neumonía nosocomial, infección intra-abdominal complicada, septicemia, infecciones de difícil tratamiento en la piel y del tracto urinario, meningitis y las exacerbaciones agudas de la fibrosis quística (Kattan, Villegas & Quinn, 2008).

El desarrollo de los carbapenems inicia en el año 1976 cuando Alberts-Shönberg y col. descubren la estructura de la tienamicina, producto del metabolismo del microorganismo *Streptomyces catteleya* (Moreno, 2013). Desafortunadamente, se encontró que la tienamicina era inestable en solución acuosa, sensible a la hidrólisis base (por encima de pH 8), y altamente reactiva a los nucleófilos tales como: hidroxilamina, cisteína e incluso la propia amina primaria de la tienamicina (Papp-Wallace *et al*., 2011).

El primer derivado sintético de la tienamicina que conservaba sus propiedades antibacterianas fue la *N*-formimidoyl tienamicina o imipenem. Este compuesto fue terapéuticamente útil por su estabilidad en estado sólido y en solución acuosa. Sin embargo, presentaba el inconveniente de ser inactivado por la dehidropeptidasa I renal (DPH-I), por lo que se asoció (1:1) a un inhibidor de esta enzima, la cilastatina. La asociación imipenem con la cilastatina fue el primer carbapenem autorizado para su administración en humanos (Fresnadillo, García & García, 2010). Posterior a ello se introdujo el meropenem como el primer carbapenem con un grupo 1-ß-metil y 2-tiopirrolidina que permite que sea estable frente a DPH-I. Luego se sintetizaron otros carbapenems de administración parenteral, que incluye el ertapenem, biapenem, panipenem, lenapenem y doripenem (Kattan *et al*., 2008).

El anillo de carbapenem es un azobiciclo formado por la condensación de un anillo beta-lactámico (lactama que posee tres átomos de carbono y uno de nitrógeno) y otro pirrolidínico de 5 miembros e insaturado. Posee en la posición uno un átomo de carbono (*carba*) y un enlace no saturado entre 2 y 3 (-*em*). Todos tienen en la posición 6 un grupo hidroxietilo en configuración trans que protege el anillo betalactámico de enzimas betalactamasas, mientras que en la posición 3, posee un radical carboxilo importante para que el anillo pirrolidínico active al beta-lactámico (Fresnadillo *et al*., 2010).

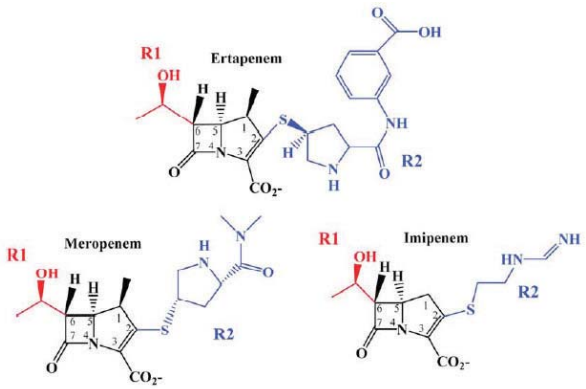


**Figura 1.** Estructura química de los carbapenems, en rojo se denota la cadena latera R1 y en azul la cadena lateral R2. (Fuente: Papp-Wallace *et al*., 2011)

En la actualidad son cuatro los principales carbapenems disponibles para uso clínico. Estos se diferencian por sustituciones en las posiciones del carbono 1 y 2.

- Imipenem: Los hidrógenos del C1 no están sustituidos, por lo que es sensible a la DHP-1 renal y potencialmente nefrotóxico. En la posición C2 posee una cadena lateral (imino-metil-amino-etil-tio), que permite diferenciar a los distintos carbapenems y le proporciona propiedades como: actividad antimicrobiana, potencial neurotóxico y estabilidad frente al DHP-1.

- Meropenem: En este antibiótico la posición C2 está sustituida por un grupo hidrofóbico dimetil-carbomoil-pirrolidin-tio que incrementa la actividad frente a bacilos Gram-negativos, y además reduce el efecto proconvulsionante observado en imipenem-cilastatina.

- Ertapenem: Posee un grupo carboxifenil amino-carbomoil-pirrolidin-tio en la posición C2, similar al meropenem, al que se une un grupo benzoato (carboxifenil). Este último grupo aumenta el peso molecular y la lipofilia de la molécula (Fresnadillo *et al*., 2010).

- Doripenem: Posee una cadena lateral sulfamoil-aminometil-pirrolidin-tio que lo dota de la buena actividad del meropenem frente a Gram-negativos y del imipenem frente a Gram-positivos. Su menor alcalinidad, en comparación con otros carbapenems, determina un aumento de la actividad de la molécula frente a *P. aeruginosa.*

**Mecanismos de resistencia**

La resistencia intrínseca a carbapemens no es común entre las bacterias clínicamente importantes y para la mayoría de éstas, la resistencia a carbapenem es adquirida por eventos mutacionales o adquisición de genes a través de la transferencia horizontal. Según Suárez, Kattán, Guzmán & Villegas (2006), los principales mecanismos de resistencia a carbapemens en bacterias Gram-negativas podrían resumirse en:

- Disminución de la permeabilidad del antibiótico a través de la membrana externa debido a la disminución en la expresión de porinas. La membrana externa de las bacterias Gram-negativas contiene proteínas llamadas porinas que forman canales hidrófilos para permitir la captación selectiva de nutrientes esenciales y otros compuestos incluidos los antibióticos. Las principales porinas en la Familia *Enterobacteriaceae* implicadas en el transporte de antibióticos pertenecen a la familia OmpF y OmpC. Por lo tanto, cualquier modificación de estas porinas pueden conducir a una resistencia en los antibióticos. La resistencia a carbapenems se observó por primera vez en aislados de enterobacterias, especialmente en *Enterobacter spp*, que sobrexpresaban el gen cromosómico llamado *ampC,* que codifica para una cefalosporinasa intrínseca y que presentaba modificaciones en las porinas OmpF y OmpC. Este mecanismo de resistencia a carbapenems, también se ha observado en otras especies de enterobacterias que no expresan una cefalosporinasa intrínseca, tales como *E. coli*, *K. pneumoniae* y *Salmonella spp*. En estos casos la resistencia corresponde a una combinación de beta-lactamasas tipo AmpC (las más comunes son las tipo DHA y CMY) ubicada a nivel plasmídico junto a la disminución de la permeabilidad de la membrana celular externa debido a modificaciones de la porinas OmpK35/36 para *K. pneumoniae*, OmpF y OmpC en *E. coli* y OmpF en *Salmonella typhimurium* (Nordmann, Laurent & Laurent, 2012; Tsai, Liou, Fung, Lin & Siu, 2013).

- Aumento de la expulsión del antibiótico mediada por la activación de las bombas de flujo. Las bombas de flujo son estructuras proteicas capaces de expulsar del citoplasma y del periplasma bacteriano compuestos tóxicos para la bacteria, como los antibióticos. La expresión de estas bombas puede ser permanente (expresión constitutiva) o intermitente (expresión que puede inducirse). Sin embargo, en *Enterobacteriaceae* no se ha reportado la participación de bombas de flujo en el desarrollo de resistencia a los carbapenem.

- Modificación y desactivación del antibiótico por hidrólisis mediada por enzimas. Esta resistencia es debida a enzimas periplasmáticas capaces de hidrolizar el enlace amida del anillo betalactámico de las penicilinas, cefalosporinas y carbapenems. Las betalactamasas tipo carbapenemasas son las más prevalentes.

**Carbapenemasas**

Las carbapenemasas son beta-lactamasas que poseen la capacidad de hidrolizar a los carbapenems. La producción de estas enzimas se ha documentado de forma extensa en diferentes especies bacterianas. Un número creciente de carbapenemasas de clase A (por ejemplo, la enzima KPC), metalo beta-lactamasas clase B (enzimas tipo VIM, IMP y NDM) y carbapenemasas clase D (por ejemplo, OXA-23, 24/40, 48, 51, 55, 58 y 143), han surgido recientemente como un problema de salud pública. Las carbapenemasas se han descrito como el mecanismo de resistencia más común a carbapenems, siendo las enzimas KPC las más documentadas y diseminadas a nivel mundial (Papp-Wallace *et al*., 2011).

**Carbapenemasas tipo KPC**

Las enzimas KPC son capaces de hidrolizar a los carbapenems, penicilinas, cefalosporinas, aztreonam, y están débilmente inhibidas por ácido clavulánico y tazobactam. La resistencia que confiere a múltiples antibióticos permite que sea una amenaza potencial para las opciones de tratamiento disponibles actualmente (Sacha *et al*., 2009, p538). La familia de carbapenemasas tipo KPC se incluyen dentro de las series carbapenemasas junto con las enzimas SME e IMI/NMC. Su mecanismo hidrolítico requiere una serina en la posición 70 del sitio activo, según el sistema de numeración de Ambler para las betalactamasas de clase A (Queenan & Bush, 2007).

Estas enzimas se han detectado principalmente en *Klebsiella pneumoniae.* Sin embargo, también han sido encontradas en otras enterobacterias, que incluye *E. coli*, *Enterobacter sp*., *Salmonella sp*., *Proteus mirabilis* y *Citrobacter freundii*. También se ha documentado en bacilos Gram-negativos no fermentadores como *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* (Hirsch & Tam, 2010).

**Variantes del gen *bla*$_{KPC}$**

Actualmente se han descrito 23 variantes de KPC. Todas poseen actividad carbapenemasa y se diferencian por la sustitución de uno a tres aminoácidos (Walther-Rasmussen & Hoiby, 2007). Las mutaciones generadas en el gen estructural $bla_{KPC-2}$ han resultado en la presencia de las diferentes variantes o alelos reportadas hasta la fecha (Tabla 1) (Wolter *et al*., 2009).

***Tabla 1.*** *Variantes del gen $bla_{KPC}$ descritas hasta la fecha*

| Gen $bla_{KPC}$ | Enzima KPC | Especies | Año de aislamiento | Locación | GenBank (N. de acceso) |
|---|---|---|---|---|---|
| $bla_{KPC-1}$[a] | KPC-1 | *K. pneumoniae* | 1996 | Estados Unidos | AF297554 |
| $bla_{KPC-2}$ | KPC-2 | *K. pneumoniae* | 1998-1999 | Estados Unidos | AY034847 |
| $bla_{KPC-3}$ | KPC-3 | *K. pneumoniae* | 2000-2001 | Estados Unidos | AF395881 |
| $bla_{KPC-4}$ | KPC-4 | *Enterobacter cancerogenus* | 2003 | Escocia | AY700571 |
| $bla_{KPC-5}$ | KPC-5 | *P. aeruginosa* | 2006 | Puerto Rico | EU400222 |
| $bla_{KPC-6}$ | KPC-6 | *K. pneumoniae* | 2003 | Puerto Rico | EU555534 |
| $bla_{KPC-7}$ | KPC-7 | *K. pneumoniae* | 2007-2008 | Estados Unidos | EU729727 |
| $bla_{KPC-8}$ | KPC-8 | *K. pneumoniae* | 2008 | Puerto Rico | FJ234412 |
| $bla_{KPC-9}$[b] | KPC-9 | *Escherichia coli* | 2009 | Israel | FJ624872 |
| $bla_{KPC-10}$ | KPC-10 | *A. baumannii* | 2009 | Puerto Rico | GQ140348 |
| $bla_{KPC-11}$ | KPC-11 | *K. pneumoniae* | 2010 | Grecia | HM066995 |
| $bla_{KPC-12}$ | KPC-12 | *K. pneumoniae* | 2010 | China | HQ641421 |
| $bla_{KPC-13}$ | KPC-13 | *Enterobacter cloacae* | 2010 | Tailandia | HQ342889 |
| $bla_{KPC-14}$ | KPC-14 | *K. pneumoniae* | 2012 | New York | JX524191 |

continuación Tabla 1

| Gen *bla*$_{KPC}$ | Enzima KPC | Especies | Año de aislamiento | Locación | GenBank (N. de acceso) |
|---|---|---|---|---|---|
| *bla*$_{KPC-15}$ | KPC-15 | *K. pneumoniae* | 2013 | China | KC433553 |
| *bla*$_{KPC-16}$ | KPC-16 | *K. pneumoniae* | 2013 | Taiwan | KC465199 |
| *bla*$_{KPC-17}$ | KPC-17 | *K. pneumoniae* | 2014 | Taiwan | KC465200 |
| *bla*$_{KPC-18}$ | KPC-18 | *Escherichia coli* | 2015 | Estados Unidos | KP681699 |
| *bla*$_{KPC-19}$ | KPC-19 | *K. pneumoniae* | 2014 | Italia | KJ775801 |
| *bla*$_{KPC-20}$ | KPC-20 | - | - | - | Asignada[c] |
| *bla*$_{KPC-21}$ | KPC-21 | - | - | - | Asignada[c] |
| *bla*$_{KPC-22}$ | KPC-22 | *K. pneumoniae* | 2014 | Taiwan | KM379100 |
| *bla*$_{KPC-23}$ | KPC-23 | - | - | - | Asignada[c] |
| *bla*$_{KPC-24}$ | KPC-24 | *K. pneumoniae* | 2015 | Chile | KR052099 |

[a] *La secuencia del gen bla*$_{KPC-1}$ *es idéntica a la de bla*$_{KPC-2}$*, en consecuencia, la designación KPC-1 ya no es válida.*

[b] *KPC-9 parece ser una versión incompleta de KPC-23.*

[c] *Asignada: aunque KPC-20, KPC-21 y KPC-23 han sido anotadas en el GenBank, las secuencias no están disponibles para su análisis.*

(Fuente: modificado de Chen *et al.,* 2011).

Los genes *bla*$_{KPC-2\ al\ 24}$ se caracterizan por poseer sustituciones de nucleótidos individuales no sinónimas dentro de los cuatros codones (nucleótidos: 147, 308, 176 y 814) (Tabla 1) (Chen *et al*., 2011). Por ejemplo, el gen *bla*$_{KPC-3}$ en comparación con el gen *bla*$_{KPC-2}$ presenta un cambio a nivel del nucleótido 814 producto de una mutación, este cambio resulta en la sustitución del aminoácido histidina (posición 272) por tirosina (Sacha *et al*., 2009). La selección sucesiva de las variantes *bla*$_{KPC}$ en diferentes especies es sugestiva de adaptación microbiana, en respuesta a la presión selectiva y destaca la facilidad de estas variantes de propagarse por plásmidos entre enterobacterias y no fermentadores, y la capacidad de diseminarse a nivel mundial (Chen *et al*., 2011).

Aunque existen 23 secuencias alélicas del gen *bla*$_{KPC}$, la mayoría de las publicaciones reportadas actualmente en los informes clínicos, son los alelos *bla*$_{KPC-2}$ y *bla*$_{KPC-3}$ (Temkin, Adler, Lerner & Carmeli, 2014).

**Elementos genéticos móviles del gen *bla*$_{KPC}$**

Los carbapenems se diseñaron en base al producto natural tienamicina generada por un organismo del suelo (*Streptomyces catteleya*). La presencia de este compuesto en el suelo, puede permitir que organismos ambientales tales como *Bacillus cereus* y *Bacillus anthracis*, bacterias que producen de forma constitutiva betalactamasas, sean capaces de degradar los betalactámicos. Esto proporcionaría una ventaja selectiva para el crecimiento de estas especies en el medio ambiente (Queenan & Busk, 2007).

La resistencia adquirida a carbapenems se evidenció una vez que los genes que codifican para estas enzimas se asociaran con determinantes genéticos móviles, tales como integrones, generalmente ubicados en plásmidos. Por lo tanto, es probable que la circulación de estas enzimas proceda de dos fuentes, las ambientales que proveen de material genético a una diversidad de

bacterias, y las cepas clínicas que pueden dispersar estas enzimas tanto en el ámbito hospitalario como en el medio ambiente circundante (Queenan & Busk, 2007).

- Transposones: El elemento móvil más común que alberga el gen $bla_{KPC}$ es un transposón (Chen *et al*., 2014). Nass *et al*. en el año 2008, identificaron que el gen $bla_{KPC}$ se encontraba en el transposón *Tn*4401, que posee un tamaño aproximado de 10 kpb, delimitado por dos secuencias repetidas invertidas (IR: *Inverted Repeat*) de 39 pb, que además contiene el gen *tnp*A que codifica para la enzima transposasa y el gen *tnp*R que codifica para la proteína resolvasa. También posee dos de secuencias de inserción (IS:*Insertion Sequence*): IS*Kpn6* y IS*Kpn7* (Naas *et al*., 2008) (Figura 2).

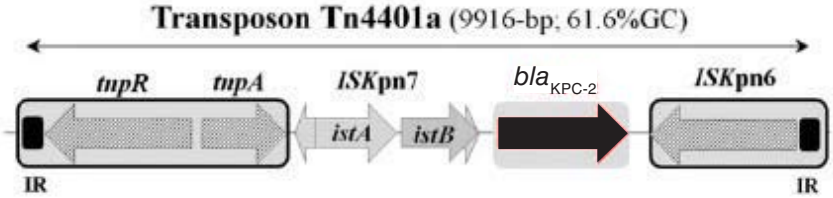


**Figura 2.** Estructura genética del transposón Tn4401a, que alberga el gen $bla_{KPC-2}$, IR: secuencias repetidas invertidas, tnpA: gen transposasa, tnpR: gen resolvasa, secuencias de inserción: ISKpn6 y ISKpn7, istA transposasa A, istB transposasa B (Fuente: Diene & Rolain, 2014).

Recientemente, se han identificado cinco isoformas de *Tn*4401 (a-e), que difieren una de otra por la presencia de deleciones (de 68 a 255 pb), en la región intergénica entre *istB* y el gen $bla_{KPC}$ (a: -99 pb; b: no posee deleciones; c: -215pb; d: -68 pb; e: -255 pb) (Chen *et al*., 2014; Mathers *et al.,* 2011; Gootz *et al*., 2009). Este transposón es capaz de movilizar el gen $bla_{KPC}$ con una alta eficiencia y en una amplia variedad de entornos genéticos como plásmidos conjugativos (Temkin *et al*., 2014).

**Antecedente cronológico de las enzimas KPC a nivel mundial**

El primer aislamiento de una bacteria productora de carbapenemasa tipo KPC, se identificó en un aislado clínico de *Klebsiella pneumoniae* (KPC-1) en Estados Unidos de América en el año 1996 (Yigit *et al*., 2001). Yigit *et al.* determinaron que el gen $bla_{KPC-1}$ se localizaba en un plásmido conjugativo de 70 kpb, que a su vez codificaba para BLEE tipo SHV-46 y TEM-1. El segundo reporte de KPC-2 se realizó en un aislado de *Klebsiella oxytoca*, también en Estados Unidos para el año 2003 (Yigit, 2003) mientras que en el 2009 se reporta en la Universidad de Texas, la presencia del gen $bla_{KPC}$ en un aislado clínico en *Pseudomonas putida*. Poco después KPC-3 fue encontrada en *K. pneumoniae* y otras enterobacterias aisladas en Estados Unidos (Sacha *et al*., 2009).

Después de la rápida expansión de las enzimas KPC en Estados Unidos, los reportes comenzaron a aparecer en todo el mundo. El primer brote de *K. pneumoniae* productora de KPC-3 fuera de Estados Unidos se informó en Israel en el año 2004, está cepa era idéntica genéticamente a las reportadas en Estados Unidos (Da Silva , Traebert & Galato, 2012). En el año 2005, el primer informe de un aislado clínico productor de KPC se informó en Francia, en un paciente que recientemente había sido hospitalizado en Nueva York (Ryan *et al*., 2011). En Grecia también se han descrito casos de *K. pneumoniae* productora de KPC-2 y se ha sugerido que puede ser otro país con endemicidad por esta bacteria (Nordmann *et al*., 2009). En China el primer aislamiento de KPC-2 se reportó en *K. pneumoniae* en el año 2007, luego estas enzimas fueron encontradas en *Citrobacter freundii*, *E. coli* y *Serratia marcescens* (Sacha *et al*., 2009; Cuzon *et al*., 2010), mientras que KPC-4 fue

detectada en *Enterobacter sp* en Escocia y en *K. pneumoniae* en Puerto Rico. En el año 2006 se designó una nueva variante de carbapenemasa llamada KPC-5 que fue descrita en aislados de *P. areuginosa* en Puerto Rico (Sacha *et al*., 2009). En América del Sur, las primeras enzimas KPC-2 detectadas fueron reportadas inicialmente en *K. pneumoniae* en el año 2006 en Colombia, Brasil y Argentina. Estas enzimas también fueron descritas en *P. aeruginosa* en Colombia, lo que demuestra una diseminación de estos determinantes de resistencia a otras especies (Nordmann, Cuzon & Nass, 2009). Del 2009 al 2015 se han reportado nuevas variantes de KPC-6 al 24, en países como: Grecia, China, Estados Unidos, Tailandia, Israel, Puerto Rico, entre otros. Sin embargo, el alelo KPC-2 es la variante que se encuentra más distribuida en enterobacterias a nivel mundial (Munoz-Price *et al*, 2013), incluyendo a países de Suramérica como Colombia (Mojica *et al*., 2012; Villegas *et al*., 2006), Brasil (Gales, Castanheira, Jones & Sader, 2012; Monteiro *et al*., 2009; Seki *et al.,* 2011; Chagas, Seki, da Silva & Asensi, 2011), Argentina (Pasteran *et al*., 2008; Gómez et al., 2011) y Venezuela (Villegas, Kattan, Quinteros & Casellas, 2008; Labrador & Araque, 2014). También se ha determinado que la mayoría de las veces se encuentra asociado al transposon *Tn*4401 (Naas *et al*., 2008), más específicamente en la isoforma "b", la cual ha sido encontrada en países como Estados Unidos de América (Kitchel *et al*., 2009), Grecia (Giakkoupi *et al*., 2011), Colombia (Cuzon *et al*., 2010) y Brasil (Pereira *et al*., 2013).

## Conclusiones

Debido a que se ha reportado que la resistencia a carbapenem en enterobacterias aumenta cada vez más a nivel mundial y debido a que uno de los mecanismos que favorece la resistencia a estos antibióticos es de tipo enzimático, mediado por el gen $bla_{KPC,}$ que se localiza en elementos genéticos móviles como transposones y plásmidos que tienen capacidad de transmitirse de forma horizontal entre bacterias; es muy importante tomar medidas de control eficaces que permitan la detección rápida de bacterias portadoras del gen $bla_{KPC}$ con el fin de evitar su diseminación a nivel hospitalario.

Conocer la epidemiología molecular de aislados clínicos de enterobacterias productoras de carbapenemasas tipo KPC es un paso importante hacia el desarrollo de estrategias específicas para prevenir la propagación de estas bacterias resistentes a nivel mundial.

## Literatura citada


1. Albers-Schönbegr, G., Arisone, H., Kaczka, E,. Kahan F,. Kahan, J., Lago, B., Maiese W., Rhodes, R. & Smith J. (1976). Thienamycin: structure determination and biosynthetic data. Abstract 229. 15th Interscience Conference. Antimicrobial Agents and Chemotherapy. Chicago, Ill. UUEE.
2. Chagas, T.P., Seki, L.M., da Silva, D.M. & Asensi, M.D. (2011). Occurrence of KPC-2-producing Klebsiella pneumoniae strains in hospital wastewater. *Journal Hospital Infection, 77* (3), 281. doi: 10.1016/j.jhin.2010.10.008.
3. Chen, L., Mathema, B., Chavda, K., DeLeo, F., Bonomo, R. & Kreiswirth, B. (2014). Carbapenemase-producing Klebsiella pneumoniae: molecular and genetic decoding. *Trends in Microbiology, 22* (12), 686-696.
4. Chen, L., Mediavilla, J., Endimiani, A., Rosenthal, M., Zhao, Y., Bonomo, R. & Kreiswirth, B. (2011). Multiplex Real-Time PCR Assay for Detection and Classification of Klebsiella pneumoniae Carbapenemase Gene (blaKPC) Variants. *Journal of Clinical Microbiology, 49* (2), 579–585.
5. Cuzon, G., Naas, T., Truong, H., Villegas, M., Wisell, K., Carmeli, Y., Gales, A., Navon-Venezia S., Quinn, J. & Nordmann, P. (2010). Worldwide Diversity of Klebsiella pneumoniae That Produces ⍰-Lactamase blaKPC-2 Gene. *Emerging Infectious Diseases, 16* (9), 1349-1356.
6. Da Silva, R., Traebert, J. & Galato, D. (2012). Klebsiella pneumoniae carbapenemase (KPC)-producing Klebsiella pneumoniae: a review of epidemiological and clinical aspects. *Expert Opinion Biological Therapy, 12* (6), 663-671.
7. Diene, S. & Rolain, J. (2014). Carbapenemase genes and genetic platforms in Gram-negative bacilli: Enterobacteriaceae, Pseudomonas and Acinetobacter species. *Clinical Microbiology and Infection, 20* (9), 831-838.
8. Fresnadillo, M., García, I., Gracía, E. & García, J. (2010). Los carbapenems disponibles: propiedades y diferencias. *Enferm Infecc Microbiol Clin, 28* (2), 53-64.
9. Gales, A.C., Castanheira, M, Jones, R.N. & Sader, H.S. (2012). Antimicrobial resistance among Gram-negative bacilli isolated from Latin America: results from SENTRY Antimicrobial Surveillance Program (Latin America, 2008-2010). *Diagn Microbiol Infect Dis, 73* (4), 354-360.

**10.** Giakkoupi, P., Papagiannitsis, C.C., Miriagou, V., Pappa, O., Polemis, M. & Tryfinopoulou, K. (2011). An update of the evolving epidemic of blaKPC-2-carrying Klebsiella pneumoniae in Greece (2009-10). *Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 66* (7), 1510-1513.

**11.** Gootz, T., Lescoe, M., Dib-Hajj, F., Dougherty, B., He, W., Della-Latta, P. & Huard, R. (2009). Genetic organization of transposase regions surrounding blaKPC carbapenemase genes on plasmids from Klebsiella strains isolated in a New York City hospital. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 53* (5): 1998–2004.

**12.** Gomez SA, Pasteran FG, Faccone D, Tijet N, Rapoport M, Lucero C, Lastovetska O, Albornoz E, Galas M; KPC Group, Melano RG, Corso A, Petroni A. (2011). Clonal dissemination of Klebsiella pneumoniae ST258 harbouring KPC-2 in Argentina. *Clinical Microbiology and Infection, 17* (10), 1520-1524.

**13.** Hirsch, E. & Tam, V. (2010). Detection and treatment options for Klebsiella pneumoniae carbapenemases (KPCs): an emerging cause of multidrug-resistant infection. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 65* (6), 1119-1125.

**14.** Kattan, J.,Villegas, M. & Quinn, J. (2008) New developments in carbapenems. *Clin Microbiol Infect. 14* (12), 1102–1111.

**15.** Kitchel, B., Rasheed, J.K., Patel, J.B., Srinivasan, A., Navon-Venezia, S. & Carmeli, Y. (2009). Molecular epidemiology of KPC-producing Klebsiella pneumoniae isolates in the United States: clonal expansion of multilocus sequence type 258. *Antimicrob Agents Chemother, 53* (8), 3365-3370.

**16.** Labrador, I. & Araque, M. (2014). First Description of KPC-2-Producing Klebsiella oxytoca Isolated from a Pediatric Patient with Nosocomial Pneumonia in Venezuela. Case Reports in Infectious Diseases, 2014, 434987. doi: 10.1155/2014/434987.

**17.** Mathers, A., Cox H., Kitchel B., Bonatti H., Brassinga AK., Carroll J., Scheld WM., Hazen KC. & Sifri CD. (2011) Molecular dissection of an outbreak of carbapenem-121 resistant enterobacteriaceae reveals Intergenus KPC carbapenemase transmission through a promiscuous plasmid. *Mbio, 2* (6): 1-7.

**18.** Mojica, M.F., Correa, A., Vargas, D.A., Maya, J.J., Montealegre, M.C. & Rojas, L.J. (2012). Molecular correlates of the spread of KPC-producing Enterobacteriaceae in Colombia. International *Journal Antimicrobial Agents, 40* (3), 277-279.

**19.** Monteiro, J., Santos, A.F., Asensi, M.D., Peirano, G. & Gales, A.C. (2009). First report of KPC-2-producing Klebsiella pneumoniae strains in Brazil. *Antimicrobial Agents Chemotherapy, 53* (1), 333-334.

**20.** Moreno, K. (2013). Carbapenémicos: tipos y mecanismos de resistencia bacterianos. *Revista Médica de Costa Rica y Centro America, 70* (608) 599 - 605

**21.** Munoz-Price, L.S., Poirel, L., Bomono, R.A.,Schwaber, M.J., Daikos, G.L. & Cormican, M. (2013). Clinical epidemiology of the global expansion of Klebsiella pneumoniae carbapenemases. *The Lancet Infectious Diseases, 13* (9), 785-796.

**22.** Naas, T., Cuzon, G., Villegas, M.V., Lartigue, M.F., Quinn, J.P. & Nordmann, P. (2008). Genetic structures at the origin of acquisition of the beta-lactamase bla KPC gene. *Antimicrob Agents Chemother, 52* (4), 1257-1263.

**23.** Nordmann, P., Naas, T. & Poirel, L. (2011). Global spread of Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae. *Emerging Infectious Diseases, 17* (10), 1791-1798.

**24.** Nordmann, P. (2014). Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae: overview of a major public health challenge. *Médecine et Maladies Infectieuses, 44* (2), 51-56.

**25.** Nordmann, P., Cuzon, G. & Nass, T. (2009). The real threat of Klebsiella pneumoniae carbapenemase- producing bacteria. *The Lancet Infectious Diseases, 9* (4), 228-236.

**26.** Nordmann, P., Laurent, D. & Laurent, P. (2012). Carbapenem resistance in Enterobacteriaceae: here is the storm!. *Trends in Molecular Medicine, 18* (5), 263-272.

**27.** Papp-Wallace, K., Endimiani, A., Taracila, M. & Bonomo, R. (2011). Carbapenems: Past, Present, and Future. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 55* (11), 4943–4960.

**28.** Pasteran, F.G., Otaegui, L., Guerriero, L., Radice, G., Maggiora, R. & Rapoport, M. (2008). Klebsiella pneumoniae Carbapenemase-2, Buenos Aires, Argentina. *Emerging Infectious Diseases, 14* (7), 1178-80.

**29.** Pereira, P.S., de Araujo, C.F., Seki, L.M., Zahner, V., Carvalho-Assef, A.P. & Asensi MD. ( (2013). Update of the molecular epidemiology of KPC-2-producing Klebsiella pneumoniae in Brazil: spread of clonal complex 11 (ST11, ST437 and ST340). *Journal Antimicrobial Chemotherapy, 68* (2), 312-316.

**30.** Queenan, A. & Bush, K. (2007). Carbapenemases: theVersatile ß- Lactamases. *Clinical Microbiology Reviews, 20* (3), 440-458.

**31.** Ryan A., Kerri, T., Sharma, S., Phillips, M., Johnson, K. & Morgan, D. (2011). Emergence of Klebsiella pneumoniae Carbapenemase (KPC) - Producing Bacteria. *Southern Medical Journal. 104* (1), 40–45.

**32.** Sacha, P., Ostas, A., Jaworowska, J., Wieczorek, P., Ojdana, D., Ratajczak, J. & Tryniszewska E. (2009). The KPC type ß-lactamases: new enzymes that confer resistance to carbapenems in Gram-negative bacilli. Polish *Histochemical et Cytochemical Society, 47* (4), 537-543.

**33.** Seki, L.M., Pereira, P.S., de Souza, Mda. P., Conceicao, Mde S., Marques, E.A. & Porto, C.O. (2011). Molecular epidemiology of KPC-2- producing Klebsiella pneumoniae isolates in Brazil: the predominance of sequence type 437. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease, 70* (2), 274-277.

**34.** Suárez, C., Kattán, J., Guzmán, A. & Villegas, M. (2006). Mecanismos de resistencia a carbapenems en P. Aeruginosa, Acinetobacter y Enterobacteriaceae y estrategias para su prevención y control. *Infectio, 10* (2), 85-93.

**35.** Temkin, E., Adler, E., Lerner, A. & Carmeli, Y. (2014). Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae: biology, epidemiology, and management. *Annals of the New York Academy of Sciences 1323*, 22-42. doi: 10.1111/nyas.12537. Recuperado de: http://www.lahey.org/studies/other.asp#table1

**36.** Tsai, T., Liou, C., Fung, C., Lin, C. & Siu, K. (2013). Single or in Combination Antimicrobial Resistance Mechanisms of Klebsiella pneumoniae contribute to Varied Susceptibility to Different Carbapenems. *Plos One, 8* (11), 1-8.

**37.** Villegas, M.V., Kattan, J.N., Quinteros, M.G. & Casellas, J.M. (2008). Prevalence of extended-spectrum beta-lactamases in South America. *Clinical Microbiology Infection, 14 Suppl 1*: 154-158.

**38.** Villegas, M.V., Lolans, K., Correa, A., Suarez, C.J., Lopez, J.A. & Vallejo, M. (2006). First detection of the plasmid-mediated class A carbapenemase KPC-2 in clinical isolates of Klebsiella pneumoniae from South America. *Antimicrobial Agents Chemotherapy, 50* (8), 2880-2882.

**39.** Walther-Rasmussen, J. & Høiby, H. (2007). Class A carbapenemases. Journal of Antimicrobial Chemotherapy 60, 470–482. doi: 10.1093/jac/dkm226.

**40.** Wolter, D., Kurpiel, P., Woodford, N., Palepou, M., Goering, R. & Hanson, N. (2009). Phenotypic and Enzymatic Comparative Analysis of the Novel KPC Variant KPC-5 and Its Evolutionary Variants, KPC-2 and KPC-4. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy 53* (2), 557–562.

**41.** Yigit, H. (2003). Carbapenem-resistant strain of Klebsiella oxytoca harboring carbapenem-hydrolyzing beta-lactamase KPC-2. *Antimicrob. Agents Chemother. 47* (12), 3881–3889

**42.** Yigit, H., Queenan, M., Anderson, G., Domenech-Sanchez, A., Biddle, A., Steward, C., Alberti, S., Bush, K. & Tenover, F. (2001). Novel carbapenem-hydrolyzing beta-lactamase, KPC-1, from a carbapenem-resistant strain of Klebsiella pneumoniae. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy 45* (4), 1151–1161.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 04 de febrero de 2015
Aceptado: 09 de marzo de 2015

# Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia.

## Physico-chemical and microbiological characterization of Soacha River water Cundinamarca, Colombia.

## *Caracterização microbiológica físico-químicas da água de Rio Soacha, Cundinamarca, Colombia.*

**Gustavo Forero Acosta**

Licenciado en Quimica y Biologia, Magister en Biología

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente-ECAPMA.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

gustavo.forero@unad.edu.co

### Resumen

Esta investigación caracterizo física, química y microbiológicamente las aguas del río Soacha, Cundinamarca, Colombia. La metodología consistió en realizar varios recorridos por toda la subcuenca del río desde la parte alta en la vereda Hungría, hasta la parte baja de la vereda Bosatama, donde desemboca en el río Bogotá; se identificaron y localizaron los tipos y puntos de vertido agrícolas, pecuarios, industriales y domiciliarios; durante los recorridos se realizaron varios talleres de conciencia ambiental con la comunidad allí presente. Posteriormente se tomaron un total de 60 muestras de agua en los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2012; 20 de la parte alta, 20 de la parte media y 20 de la parte baja de la subcuenca y se realizaron los respectivos análisis físicos, químicos y microbiológicos *in situ* y en laboratorio; los cuales permitieron caracterizar la contaminación del agua del río Soacha. Los resultados obtenidos muestran que las aguas de este río contienen altos índices de contaminación de fósforo, nitrógeno y coliformes, así como una baja concentración de oxígeno disuelto en la parte media y baja de la subcuenca, principalmente; lo cual pone en evidente riesgo la vida de los animales y personas que allí habitan.

**Palabras clave**: contaminación, Soacha, subcuenca, evaluación ambiental integral

### Abstract

This research analyzed the properties of the water from the Soacha River, Cundinamarca, Colombia, its physicochemical and microbiological properties were investigated. The methodology consisted of performing various tours throughout the sub-basin of the river from Hungría laneto Bosatama lane where Soacha River flows into the Bogota River; livestock, agricultural, industrial and residential discharge points were identified; during the tours several workshops regarding environmental topics were conducted with the community of the area. Subsequently a total of 60 water samples during the period from September, to November 2012; 20 samples were taken from the top of the sub-basin 20 from the middle and 20 from the lower part physical, chemical and microbiological analysis were carried out both *in situ* and in laboratory; which allowed to identify the contamination of water from Soacha River. The results obtained showed that the waters of this river contain high levels of contamination of phosphorus, nitrogen and coliforms, as well as a low concentration

of dissolved oxygen in the middle and low of the subbasin, which revealed clearly that the animals and humans who live near the river are in serious risk.

**Key-words:** pollution, Soacha, subbasin, integrated environmental assessment

## Resumo

Nesta pesquisa se caracterizou física, química e microbiológicamente as águas do rio Soacha em Cundinamarca, Colômbia. A metodología consitiu em percorrer a subcuenca do rio desde a zona alta no povoado Hungria até a zona baixa do povoado Bosatama. Foram identificados e localizados os tipos e pontos de vertimentos agrícolas, pecuários, industriales e domiciliários, sendo que durante os deslocamentos, se realizaram vários seminários de conciencia ambiental com a comunidade presente. Posteriormente se tomaram um total de 60 amostras de água nos meses de Septembro, Otubro e Novembro de 2012 assim: 20 amostras da zona alta, 20 da zona media e 20 amostras da zona baixa da subcuenca. Foram realizadas as análises físicas, químicas e microbiológicas in situ e no laboratório, as quais possibilitaram caracterizar a poluição da água do rio Soacha. Os resultados obtidos mostram que as águas deste rio contêm altos índices de poluição de fósforo, nitrogênio e coliformes, bem como baixa concentração de oxigênio dissolvido na zona media e baixa da subcuenca, principalmente. Isto põe em evidente risco a vida dos animais e pessoas habitan na região.

**Palavras-chave:** poluição, Soacha, sub-bacia, avaliação ambiental integrada

## Introducción

En la sociedad actual, la conservación de la naturaleza se ha convertido en una preocupación ciudadana y de los poderes públicos; inquietud que se ve reflejada en las políticas públicas y los proyectos de desarrollo a nivel nacional y mundial, los cuales otorgan cada vez más una mayor importancia a los conceptos de desarrollo sostenible, protección de la biodiversidad y manejo de la contaminación (CAR, 2007).

En este sentido, la conservación de los recursos naturales cobra importancia como disciplina que aporta y da respuesta a los problemas relacionados con la explotación económica incontrolada de los recursos naturales, la desaparición de especies de flora y fauna, la degradación de espacios naturales y el incremento en los niveles de contaminación de los recursos hídricos. Frente a este último aspecto, el desconocimiento sobre la importancia y el uso racional de los recursos naturales, la práctica de procesos productivos inadecuados por parte de la comunidad, sumado a la posible formulación de políticas ambientales inadecuadas, es presumiblemente la causa de los críticos problemas de contaminación que aqueja al recurso hídrico. Así mismo, los grandes avances en la industria científica y tecnológica han generado el surgimiento de un sinnúmero de compuestos químicos y biológicos, la mayoría de estos con altos índices de toxicidad que repercuten de manera significativa en la salud humana, vegetal y animal (Bester, 2007).

Los productos químicos presentes en el agua contienen un elevado número de productos químicos antropogénicos, es decir, aquellos productos que son sintetizados o producidos indirectamente por actividades humanas. A manera de ejemplo se pueden citar los subproductos generados durante la desinfección del agua potable, así como los productos naturales, es decir aquellos que son creados por procesos fisicoquímicos o biológicos naturales; por ejemplo el geosmin, que es un alcohol bicíclico que lo producen ciertas algas y que le da una sabor desagradable al agua (Christian, 2004). Los contaminantes de tipo antropogénico

se han dispersado ampliamente en el ambiente y están afectando seriamente las propiedades fisicoquímicas de las aguas superficiales y subterráneas. Esto básicamente ha sido resultado de las altas emisiones industriales, la ineficiente disposición de residuos sólidos, los derrames accidentales, la aplicación incontrolada de pesticidas, herbicidas, fungicidas y nutrientes en la agricultura, la disposición en el suelo de los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y las actividades domiciliarias que incluyen, la excreción y la disposición natural de una amplia gama de productos químicos, como los Productos Farmacéuticos y de Higiene Personal PPCPs) denominados patógenos emergentes (Candela, 2007).

Se ha podido demostrar que la vida acuática es la que mayor riesgo presenta por el alto grado de sustancias derivadas de los PPCPs que son arrojadas de manera incontrolada a las diferentes fuentes hídricas (ríos, lagos, lagunas, quebradas, océanos, etc.). Varios estudios indican que los antidepresivos alteran los niveles de esperma y los patrones de desove de los animales acuáticos. Otros estudios han sugerido que los peces expuestos a estrógenos han deformado de manera considerable sus sistemas reproductivos. El número de compuestos químicos orgánicos distintos, que se podría hipotéticamente sintetizar e incluir en el universo químico conocido, se considera una cifra aproximada de unas 1060 estructuras distintas, que son posibles con un total de simplemente 30 átomos de carbono, nitrógeno, oxígeno o azufre, esto sin considerar el espectro posible si incluimos a los halógenos y el fósforo. Claramente se observa que no hay límites para los posibles tipos de productos químicos orgánicos que pueden ser sintetizados de manera natural y/o artificial (Simonich, 2000)

Otro tipo de sustancias contaminantes presentes en aguas residuales son las conocidas como contaminantes emergentes, este tipo de contaminantes son en la mayoría de los casos contaminantes no regulados, como ejemplo de este tipo de contaminantes se pueden mencionar los surfactantes, productos farmacéuticos, productos para el cuidado personal, aditivos de la gasolina, retardantes de fuego, antisépticos, aditivos industriales, esteroides, hormonas y los subproductos empleados para la desinfección del agua. Una de las características fundamentales de esos contaminantes es que no necesitan persistir en el ambiente para causar efectos nocivos, puesto que sus altas tasas de transformación/remoción se pueden compensar por su introducción continua en el ambiente (Barceló, 2003). Así mismo y sin duda alguna el uso de sustancias químicas y biológicas en las actividades agrícolas, tales como pesticidas, fungicidas, fertilizantes y algunos nutrientes han mostrado altos índices de contaminación de aguas subterráneas y superficiales; varias de estas sustancias o compuestos son empleados de manera no controlada en la agricultura y en la erradicación de cultivos ilícitos y su grado de afección puede ser catastrófico para el ser humano y para los animales que son expuestos a éstos, tal es el caso de los nitritos de los purines, los cuales son capaces de producir metahemoglobulinemia en el recién nacido (síndrome del niño azul) (Sancha, 2002).

Las heces fecales producidas en las actividades domiciliarias, también representan un foco de contaminación y afectan de manera considerable la calidad microbiológica del agua; para analizar este parámetro se ha utilizado la detección de diferentes grupos de microrganismos indicadores de contaminación fecal, bacterianos, virales y *Clostridium perfringens*, especialmente empleado como indicador bacteriano para detección o presencia de quistes de protozoos. La utilización de estos indicadores se ha basado en el tipo de calidad de agua deseada y el uso de ésta (Tallon & Magajna, 2005). La selección y utilización del tipo de indicador se basa en el cumplimiento de varios criterios, entre los que sobresalen los propuestos por Yates (2007).

Por otra parte, también se ha encontrado que las aguas superficiales y subterráneas comúnmente se contaminan por la presencia de restos fitosanitarios de abonos y productos de uso agrícola y materia orgánica como resultado de las

explotaciones ganaderas; así mismo, cabe mencionar también la elevada cantidad de residuos químicos vertidos a las fuentes hídricas, producto de las actividades domésticas cuya carga de contaminantes está asociada a la presencia de residuos fisiológicos, residuos provenientes del lavado de ropas, de limpieza doméstica, de preparación de alimentos, del lavado de calles y avenidas y al uso de materiales peligrosos y tóxicos similares a los industriales como es el caso de los disolventes, aceites, pinturas, ácidos, bases, tensoactivos, aditivos, conservantes, preservantes, etc. (Sánchez, Peñaroja, Olivera & Nadal, 2007). La actividad industrial y minera también incorpora grandes cantidades de productos y subproductos químicos que son arrojados o vertidos de manera irresponsable a las fuentes hídricas incrementando aún más el problema de contaminación acuífera. Es de resaltar que las industrias que más afectan el ambiente son: textilera (tinturas), curtido de pieles (por el uso y vertimiento de metales como cromo, mercurio, arsénico, níquel, cadmio, cobre y plomo, entre otros), papelerías, minera, refinado de petróleo, petroquímica, siderometalúrgicas, el tratamiento de superficies, las fábricas de concentrados y de producción de alimentos. El agua residual tiene una alta influencia en el medio donde sea vertida, para evaluar el tipo de contaminantes físico-químicos del agua, básicamente se tienen en cuenta una serie de parámetros entre los cuales se resaltan los siguientes: pH, solidos totales, solidos suspendidos, metales pesados, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, etc. Otros como la temperatura y el contenido en grasas también pueden ser representativos (Standard Methods, 2000).

Todo lo anterior, ha generado una grave crisis en muchas de las comunidades a nivel mundial a tener acceso al agua de óptimas condiciones (potable). En países como Colombia, el fenómeno relacionado con el desplazamiento a las grandes ciudades o sus alrededores ha llevado a cientos de familias a huir de sus lugares de origen; pues la falta de garantías mínimas de protección de su vida y de su familia, se han visto forzadas a migrar a sectores urbanos cercanos a las grandes ciudades o sus alrededores como es el caso de los habitantes del municipio de Soacha, específicamente los que se acentúan en las partes baja, media y alta de la subcuenca del río Soacha de este municipio cundinamarqués. Estos asentamientos son los que han generado un acelerado aumento en la población que inciden aún más en los índices de pobreza, con bajos índices de cobertura de servicios públicos afectando la calidad de vida de los habitantes (Pinto, 2005). Según datos de planeación municipal (Departamento Nacional de Estadística DANE, 2010), durante la última década, el municipio de Soacha se ha convertido en uno de los municipios con mayor densidad poblacional del departamento de Cundinamarca; siendo este, uno de los lugares que más recibe población en condiciones de desplazamiento. Cerca del 79% de los habitantes proviene de diferentes regiones del país y únicamente el 21% han nacido en la localidad, generando un territorio con altos índices de pobreza, desempleo, inseguridad, bajos ingresos e innumerables sectores inmersos en la informalidad. Por lo anterior, dentro de las soluciones para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes frente al aumento de contaminación de los recursos hídricos, se propuso realizar análisis químicos, físicos y microbiológicos de diferentes puntos estratégicos de la subcuenca del rio Soacha, que cubre las partes alta, media y baja; que permitieron caracterizar la contaminación del agua, la identificación de los puntos de vertido y el tipo de contaminantes que son arrojados de manera irresponsable a las aguas del rio Soacha (Forero, 2012). Finalmente, se identificaron algunos temas estratégicos en los que podrán basarse las acciones lideradas por las autoridades locales con la participación activa de la comunidad y el sector industrial y minero.

## Materiales y métodos

### *Ubicación geográfica del área de estudio*

El municipio de Soacha se encuentra ubicado al sur de la ciudad de Bogotá, Colombia, tiene

una altitud promedio de 2548 a 2737 msnm, una temperatura media anual de 12.8°C, una precipitación media anual de 568 milímetros /año. Los periodos de mayor precipitación son: marzo, abril, mayo, octubre y noviembre, el tipo de vegetación que predomina en la subcuenca del rio Soacha es de tipo Bosque Andino Seco Montañoso bajo (Bs-mb).

El río Soacha nace a una altitud de 3.400 msnm, en la zona del páramo al oriente del municipio de Soacha en la vereda Hungría y recorre las veredas de Fusungá, San Jorge y Panamá, atravesando el área urbana del municipio de Soacha en dirección sur a norte y continúa su curso hasta la Vereda Bosatama en donde desemboca en el río Bogotá (Figura 1) y posteriormente formar el Salto de Tequendama. Tal como lo demuestran los archivos históricos y vestigios naturales, esta subcuenca estuvo rodeada de bosques de una gran biodiversidad al tiempo que recibía parte de sus aguas por una gran cantidad de arroyos y quebradas, muchos de los cuales han desaparecido por diversos factores y provocado que este río se convierta en un caño receptor de aguas residuales de una buena parte de las veredas cercanas como: San Jorge, Fusungá, Panamá y Bosatama. La subcuenca del rio Soacha, que pertenece a la cuenca media del río Bogotá; es considerada como uno de los recursos naturales más importantes para el municipio. Actualmente, esta subcuenca presenta como principales fuentes de contaminación; el vertido directo de aguas residuales domiciliarias e industriales específicamente de los sectores manufacturero, agrícola, pecuario y minero que operan sobre su área de influencia y que inciden además en los elevados niveles de sedimentación (Fundación planeación ecológica y Ecoforest, 2011). En este sentido, la investigación permitió conocer el estado actual de la subcuenca para determinar y caracterizar su nivel de contaminación.

**Figura 1.** Nacimiento y desembocadura rio Soacha. Fuente: modificado de Municipio de Soacha (2012).

En la región, el recurso vegetal se ha visto fuertemente afectado por la intervención de tipo antrópico, reduciendo los bosques a pequeñas áreas de vegetación en sucesión secundaria que ofrece refugio para fauna de la región y para las especies de flora que caracterizan este tipo de bosque. Las condiciones físicas y bióticas de la subcuenca, generan una oportunidad para el establecimiento de plantaciones protectoras productoras, que disminuyan el impacto de los monocultivos y la ganadería extensiva, sobre los suelos y el recurso hídrico. En la subcuenca se presentan áreas con índices de calidad de punto apropiados para el establecimiento de sistemas forestales productivos, que equilibren la demanda sobre el recurso forestal y disminuir la presión permanente sobre ecosistemas boscosos naturales (Contraloría General de la República, 2010).

La subcuenca del rio Soacha está dividida en tres zonas:

**Zona parte alta:** inicia desde el nacimiento del río Soacha en la parte más alta de la vereda Hungría, donde se encuentra una exuberante vegetación en su gran mayoría de bosque nativo donde sobresalen diferentes especies de plantas como: helechos (peridofitas), frailejones (del género espeletia), encenillos, bromelias, hericaceas, eriocu-laceas, rosáceas y árboles y arbustos de pequeño y mediano tamaño, entre otras; gracias a esta enorme variedad de especies vegetales es que esta zona de la subcuenca del rio Soacha este declarada como reserva forestal para el municipio de Soacha. También sobresales diferentes especies de aves (colibrís, gavilanes y patos), reptiles (lagartos y lagartijas principalmente), anfibios (sapos y ranas) y mamíferos (conejos y ratones), el río sigue avanzando recorriendo buena parte de esta vereda y se inserta en la vereda San Jorge.

**Zona parte media**, está ubicada en la vereda San Jorge, allí el rio se inserta y recorre toda la vereda y atraviesa los predios del Instituto Colombiano Agropecuario y donde también funciona una estación climatológica del IDEAM; en esta parte de la subcuenca hay un cambio brusco de la vegetación; la cual se torna más espesa. Allí sobresalen especies vegetales como bromelias, pinos, enrredaderas, algunos helechos, arboles de mayor tamaño y algunos arbustos. Así mismo por información de la comunidad algunas especies que sobresalen en la zona son: colibrís, copetones, lagartos y perros de monte, en esta zona inicia la actividad minera.

**Zona parte baja**; en esta parte el río que ya llega prácticamente contaminado por el vertido de diferente tipo de sustancias, como se detalla más adelante, la vegetación es completamente distinta y escasa, aquí se nota el enorme daño que la intervención humana ha causado al ambiente de la subcuenca; la vegetación es escasa, solo sobresalen algunos árboles y sembrados de pasto; la vida animal silvestre prácticamente no existe, solo algunas aves como copetones y mirlas; la actividad minera y de conurbación es elevada

***Identificación y clasificación de los puntos de vertido***

Para la identificación de los puntos de vertido, fue necesario hacer una visita de inspección a lo largo de la subcuenca del río, desde la parte alta de la vereda Hungría, pasando por la parte media de las veredas San Jorge y Fusungá, hasta llegar a la parte baja de la vereda Panamá y el corredor urbano del municipio de Soacha, para finalmente culminar en la desembocadura del río Bogotá en la vereda Bosatama del municipio de Soacha (Figura 2); en este recorrido se pudieron identificar y clasificar los diferentes puntos de vertido, los cuales fueros escogidos de acuerdo con el tipo de actividad que allí se desarrolla.

***Toma de muestras para análisis físico, químico y microbiológico***

Una vez identificados los puntos de vertido, se procedió a tomar un total de 60 muestras de agua (2 de cada punto) de manera aleatoria en tres momentos diferentes para los respectivos análisis físicos, químicos y microbiológicos; las muestras fueron colectadas durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2012.

***Toma de muestras en cada una de las partes de la subcuenca del río Soacha***

Se registraron durante los meses de septiembre y octubre de 2012 un total de 20 muestras en cada una de las tres partes de la subcuenca (alta, media y baja). Las muestras se tomaron de manera aleatoria y cubriendo en su mayor parte la trayectoria del rio en cada punto de la subcuenca. Para cada una de las muestras colectadas se emplearon materiales, equipos y recipientes debidamente esterilizados, marcados y con los indicadores, conservantes y químicos específicos para los análisis realizados *in situ* como en laboratorio.

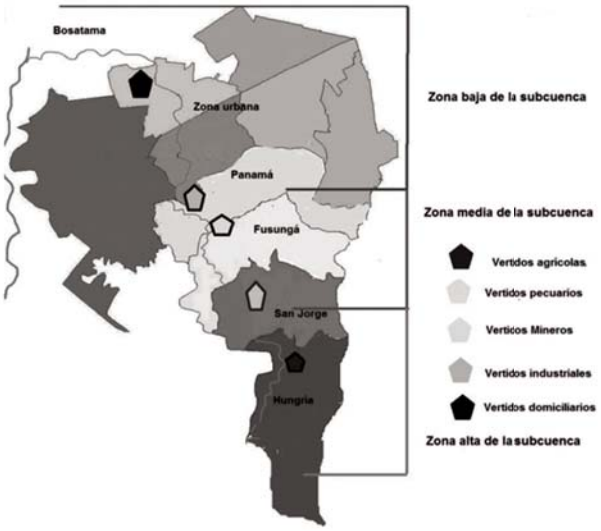


**Figura 2.** Identificación de puntos de vertido a lo largo de la subcuenca del rio Soacha.

Fuente: modificado de: Empresa de salud ESE del municipio de Soacha (2012)

Es de resaltar que *in situ* se realizaron los siguientes análisis de agua: temperatura, olor, color, pH, oxígeno disuelto y sólidos sedimentables. Para los análisis realizados *in situ* como para los de laboratorio, se procedió de la siguiente manera (este procedimiento operó para cada uno de los puntos muestreados y correspondientes a las tres zonas de estudio: subcuenca parte alta, subcuenca parte media y subcuenca parte baja). Para los análisis, se tomó una muestra de 3500 ml de agua directamente del rio y se dividió en cinco recipientes diferentes; en el primer recipiente se colocaron aproximadamente 1000 ml de agua y se midieron los valores de pH; para lo cual se empleó un pH metro digital, la temperatura empleando un termómetro digital y oxígeno disuelto empleando un oxímetro digital. En el segundo recipiente (probeta de vidrio) se colocaron 500 ml de agua y se analizaron *in situ* los siguientes parámetros: color, olor y sólidos sedimentables. En el tercer recipiente (galón plástico) se colocaron 1000 ml de agua y se transportó y preservó en nevera de icopor a 4°C al laboratorio para los respectivos análisis de: nitrógeno amoniacal y sólidos totales. En el cuarto recipiente (frasco de vidrio ámbar con solución de H2SO4), se colocaron 500 ml de agua y se trasportaron y preservaron en nevera de icopor a 4°C al laboratorio para los análisis de: fósforo total y nitrógeno total. En el quinto recipiente (frasco de vidrio transparente) se colocaron 230 ml de agua y se trasportaron y preservaron en nevera de icopor a 4°C al laboratorio para los análisis de: coliformes totales y coliformes fecales.

El procedimiento empleado para recolección, análisis realizados *in situ*, preservación y transporte para posteriores análisis en laboratorio de las muestras colectadas en la subcuenca del rio Soacha, se detalla en la Figura 3.

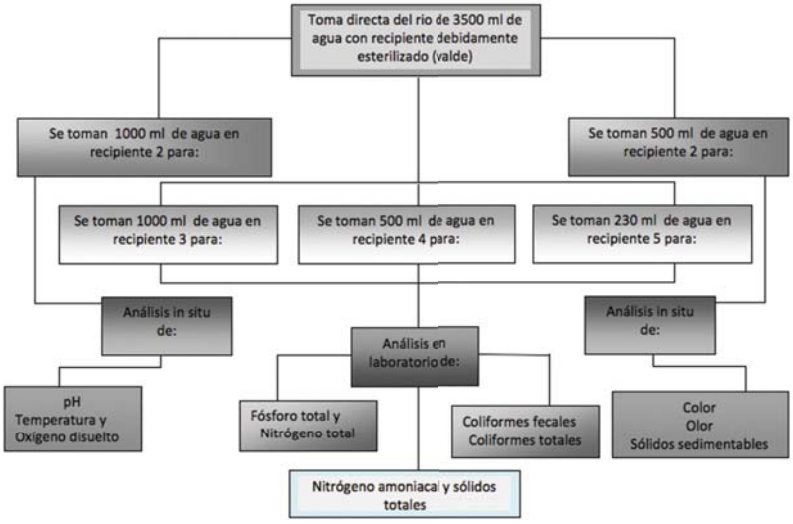


**Figura 3.** Procedimiento empleado para recolección, análisis, preservación y transporte de las muestras colectadas en la subcuenca del río Soacha.

## Resultados

**Vertidos de tipo agrícola**: son aquellos que resultan como subproductos de las diversas actividades agrícolas relacionadas con la siembra y cosecha de cultivos de fresa, flores y hortalizas principalmente, en los cuales se emplean diverso número de sustancias químicas como plaguicidas, fungicidas, fertilizantes y algunos conservantes; este tipo de actividades primordialmente se desarrollan en la parte baja de la vereda Hungría (parte alta de la subcuenca), en la vereda San Jorge y dentro de las instalaciones del Instituto Colombiano Agropecuario (parte media de la subcuenca); cuyas instalaciones encuentran abandonadas; pero que a sus alrededores se realizan este tipo de siembras; de acuerdo con los resultados de los análisis de laboratorio presentado más adelante el porcentaje de vertidos de este tipo que son arrojados por escorrentía y de manera directa a la subcuenca del río en la parte alta es del 13% aproximadamente. Los vertimientos al río Soacha en esta zona, causan problemas al agua; ya que todos los subproductos químicos de las diferentes sustancias empleadas llegan por escorrentía a este importante efluente, afectando de manera considerable la calidad del agua; la cual ya se torna de un ligero color grisáceo cuando abandona parte de la cuenca media en la vereda San Jorge.

**Vertidos de tipo pecuario:** son aquellos que resultan como subproductos de las diversas actividades pecuarias relacionadas con el mantenimiento, cría, cuidado y bienestar de animales de granja (pollos, vacas, cabras, ovejas y conejos principalmente), en los cuales se emplean sustancias químicas como hormonas, vacunas, concentrados, etc.; este tipo de actividades se desarrollan primordialmente en las veredas San Jorge (parte baja) y Fusungá que hacen parte de la cuenca media de la subcuenca y en la vereda Bosatama de la parte baja de la subcuenca. De acuerdo con los resultados de los análisis de laboratorio presentado más adelante el porcentaje de vertidos de este tipo que son arrojados por escorrentía y de manera directa a la subcuenca del río Soacha en la parte alta es del 7% aproximadamente. Los vertimientos al río Soacha en esta zona, causan graves problemas al agua; ya que todos los subproductos químicos de las diferentes sustancias empleadas (muchos de ellos sin metabolizar completamente) en este tipo de actividad llegan de manera directa o por escorrentía, afectando de igual manera la calidad del agua; al abandonar la subcuenca de la parte media, el agua del rio se torna de una ligera coloración marrón.

**Vertidos de tipo minero:** son aquellos que resultan de la actividad minera que se ejerce de la explotación incontrolada de arcilla, arena, piedra, recebo y grava; así como en la fabricación de bloque y ladrillo; este tipo de actividades se desarrollan primordialmente en la vereda Fusungá (parte media de la subcuenca) y en la vereda panamá (parte baja de la subcuenca). De acuerdo con los resultados de los análisis de laboratorio el porcentaje de vertidos de este tipo que son arrojados de manera directa a la subcuenca del río Soacha en la parte alta es del 38% aproximadamente; ya que algunas de las trampas de atrape de residuos sólidos están en detrimento por falta de mantenimiento o simplemente no existen, salvo algunas empresas como ladrillera Santa Fé que hace un adecuado tratamiento de aguas residuales antes de que estas lleguen al rio. Los vertimientos al río en esta zona, siguen causando graves problemas al agua; ya que todos los subproductos resultantes de esta actividad minera y ladrillera llegan de manera casi que directa a rio; pues las trampas diseñadas para atrapar y retener materia sólida no son apropiadas o simplemente no se les hace el mantenimiento adecuado. Al abandonar la subcuenca de la parte baja, el agua del rio se torna de color amarillo; por el alto contenido de materia sólida, resultante del lavado de arena, grava y piedra.

**Vertidos de tipo industrial:** son aquellos que resultan de toda la actividad industrial y comercial de la zona rural (vereda Panamá) y urbana del municipio de Soacha; este tipo de actividades se desarrollan en la parte baja de la subcuenca). El aporte en materia contaminante vertida al río en esta

parte de la subcuenca según análisis realizado esta alrededor del 22%. Los vertimientos al río en esta zona, causan un gran daño ambiental al agua, y hacen que en ella prácticamente no se lleve a cabo ninguna actividad ecosistémica; ya que todos los subproductos resultantes de tenerías, fábricas de concentrados, fábricas de fibra de vidrio y de talleres industriales y de mecánica automotriz, entre otros llegan de manera directa al rio. Al abandonar la subcuenca de la parte baja, el agua del rio se torna de color negruzco; por el alto contenido de sustancias químicas arrojadas, resultantes tanto de la actividad industrial como domiciliaria.

**Vertidos de tipo domiciliario:** son aquellos que resultan como subproducto de diferentes actividades domiciliarias donde se emplean diferentes productos químicos como: jabones, detergentes, desinfectantes, perfumes, fármacos, drogas y otro tipo de sustancias que son vertidas de manera directa por inodoros, rejillas, sifones y lavamanos sin ningún tipo de control o tratamiento previo; este tipo de actividades se desarrollan primordialmente en las veredas San Jorge (parte baja) y Fusungá que hacen parte de la cuenca media de la subcuenca de la vereda Panamá y todo el corredor urbano del municipio de Soacha por donde el rio atraviesa. La carga contaminante en esta parte de la subcuenca del rio Soacha está en el 20% aproximadamente, afectando de manera considerable la calidad del agua. El rio continúa su recorrido por la vereda Bosatama y desemboca en el rio Bogotá. Al abandonar la subcuenca de la parte baja, el agua del rio es de color negruzco; por el alto contenido de sustancias químicas resultantes de la actividad domiciliaria y la alta carga de contaminantes producida durante todo su recorrido.

**Parámetros físicos, químicos y microbiológicos del rio Soacha en todo el recorrido de la subcuenca**

**Parámetros analizados *in situ***

Las Tablas 1, 2 y 3, evidencian los resultados obtenidos durante el mes de septiembre de 2012 de los primeros 10 puntos muestreados y que corresponden a las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha.

***Tabla 1.*** *Resultados obtenidos in situ del primer muestreo en la subcuenca del río Soacha, parte alta*

| Análisis realizados *in situ* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte alta** | **Valores de pH** | **Temperatura (°C)** | **Oxígeno disuelto (mg/l)** | **Sólidos sedimentables (mg/l) cono Imhoff** | **Color (visométrico)** | **Olor** |
| Punto 1 | 7,65 | 8,1 | 5,85 | 0 | transparente | a hierba y terroso |
| Punto 2 | 7,4 | 9,8 | 6,21 | 0 | transparente | a hierba y terroso |
| Punto 3 | 7,19 | 11 | 6,51 | 0 | transparente | a hierba y terroso |
| Punto 4 | 7,21 | 6,58 | 6,52 | 0 | transparente | a hierba y terroso |
| Punto 5 | 6,57 | 9,5 | 6,53 | 0 | transparente | a hierba y terroso |
| Punto 6 | 7,1 | 9,7 | 6,15 | 0 | transparente | a hierba y terroso |
| Punto 7 | 6,94 | 10,2 | 6,6 | 0 | transparente | a hierba y terroso |
| Punto 8 | 6,9 | 10,5 | 6,41 | 0,01 | transparente | a hierba y terroso |
| Punto 9 | 6,87 | 10,8 | 6,1 | 0,01 | Gris | sin olor |
| Punto 10 | 6,85 | 11,1 | 5,87 | 0,03 | Gris | sin olor |

***Tabla 2.*** *Resultados obtenidos in situ del primer muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte media*

| Análisis realizados *in situ* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte media** | **Valores de pH** | **Temperatu-ra (°C)** | **Oxígeno disuelto (mg/l)** | **Sólidos sedimentables (mg/l) cono Imhoff** | **Color (visométrico)** | **Olor** |
| Punto 11 | 7,8 | 11,4 | 5,63 | 0,01 | Gris | sin olor |
| Punto 12 | 7,6 | 11,3 | 5,61 | 0 | Gris | sin olor |
| Punto 13 | 7,52 | 11,5 | 6,11 | 0 | Gris | sin olor |
| Punto 14 | 7,4 | 11,5 | 6,01 | 0 | Gris | Fármaco |
| Punto 15 | 7,25 | 11,7 | 5,57 | 0,02 | Gris | Fármaco |
| Punto 16 | 7,15 | 11,9 | 5,13 | 0,02 | Gris | Fármaco |
| Punto 17 | 6,95 | 11,9 | 4,72 | 0,01 | Gris | Fármaco |
| Punto 18 | 6,85 | 12,3 | 4,85 | 0,03 | Marrón claro | a hierro |
| Punto 19 | 6,62 | 12,9 | 4,91 | 0,04 | Marrón claro | a hierro |
| Punto 20 | 6,41 | 13,4 | 5,31 | 0,07 | Marrón claro | a hierro |

***Tabla 3.*** *Resultados obtenidos in situ del primer muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte baja*

| Análisis realizados *in situ* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte baja** | **Valores de pH** | **Tempera-tura (°C)** | **Oxígeno disuelto (mg/l)** | **Sólidos sedimentables (mg/l) cono Imhoff** | **Color (visométrico)** | **Olor** |
| Punto 11 | 6,85 | 16,6 | 4,78 | 0,8 | Color amarillento | a hierro |
| Punto 12 | 7,14 | 16,2 | 4,78 | 1 | Color amarillento | a hierro |
| Punto 13 | 7,51 | 13,7 | 7,22 | 1,7 | Color amaillo gris | a químico |
| Punto 14 | 6,9 | 15,1 | 5,71 | 2,5 | Color gris oscuro | a huevo podrido |
| Punto 15 | 6,54 | 16,4 | 3,21 | 3,2 | Color gris oscuro | a huevo podrido |
| Punto 16 | 6,66 | 17,7 | 0,74 | 3,9 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 17 | 6,96 | 17,8 | 0,57 | 3,8 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 18 | 7,14 | 18 | 0,48 | 2,4 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 19 | 8,14 | 18,1 | 0,41 | 3 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 20 | 7,32 | 18,3 | 0,35 | 2,5 | Color negro | a huevo podrido |

Las Tablas 4, 5 y 6 muestran los resultados obtenidos durante la segunda toma de muestras realizada en el mes de octubre de 2012 y que corresponden a los mismos puntos muestreados en el mes de septiembre de las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha.

***Tabla 4.*** *Resultados obtenidos in situ del segundo muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte alta*

| Análisis realizados *in situ* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte alta** | **Valores de pH** | **Tempera-tura (°C)** | **Oxígeno disuelto (mg/l)** | **Sólidos sedimentables (mg/l) cono Imhoff** | **Color (visométrico)** | **Olor** |
| Punto 1 | 7,91 | 9,1 | 5,83 | 0 | transparente | a hierba y tierra |
| Punto 2 | 7,68 | 9,2 | 6,11 | 0 | transparente | a hierba y tierra |
| Punto 3 | 7,24 | 10,1 | 6,45 | 0 | transparente | a hierba y tierra |
| Punto 4 | 7,3 | 9,3 | 6,35 | 0 | transparente | a hierba y tierra |
| Punto 5 | 7,25 | 9,4 | 6,49 | 0 | transparente | a hierba y tierra |
| Punto 6 | 7,01 | 9,4 | 6,25 | 0 | transparente | a hierba y tierra |
| Punto 7 | 6,9 | 9,5 | 5,57 | 0 | transparente | a hierba y tierra |
| Punto 8 | 6,83 | 9,91 | 5,56 | 0 | transparente | a hierba y tierra |
| Punto 9 | 6,77 | 10,5 | 5,21 | 0,01 | Grisáceo | sin olor |
| Punto 10 | 6,7 | 11,1 | 5,17 | 0,01 | Grisáceo | sin olor |

***Tabla 5.*** *Resultados obtenidos in situ del segundo muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte media*

| Análisis realizados *in situ* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte media** | **Valores de pH** | **Tempera-tura (°C)** | **Oxígeno disuelto (mg/l)** | **Sólidos sedimentables (mg/l)** | **Color** | **Olor** |
| Punto 11 | 7,92 | 10,7 | 5,33 | 0 | Gris | sin olor |
| Punto 12 | 7,83 | 10,9 | 5,55 | 0 | Gris | sin olor |
| Punto 13 | 7,6 | 11,2 | 6,38 | 0 | Gris | sin olor |
| Punto 14 | 7,54 | 11,7 | 6,33 | 0 | Gris | Fármaco |
| Punto 15 | 7,12 | 12,1 | 5,17 | 0,03 | Gris | Fármaco |
| Punto 16 | 7,09 | 12,4 | 5,33 | 0,02 | Gris | Fármaco |
| Punto 17 | 6,9 | 12,6 | 4,96 | 0,02 | Marrón claro | a hierro |
| Punto 18 | 6,75 | 12,9 | 5,36 | 0,05 | Marrón claro | a hierro |
| Punto 19 | 6,71 | 13,2 | 5,58 | 0,04 | Marrón claro | a hierro |
| Punto 20 | 6,25 | 13,9 | 5,68 | 0,1 | Marrón claro | a hierro |

***Tabla 6.*** *Resultados obtenidos in situ del segundo muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte baja*

| Análisis realizados *in situ* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte baja** | **Valores de pH** | **Tempera-tura (°C)** | **Oxígeno disuelto (mg/l)** | **Sólidos sedimentables (mg/l)** | **Color** | **Olor** |
| Punto 21 | 7,15 | 14,8 | 4,35 | 1,1 | Color amarillento | a hierro |
| Punto 22 | 7,28 | 15,2 | 4,31 | 1,7 | Color amarillento | a hierro |
| Punto 23 | 7,31 | 15,7 | 6,21 | 2,4 | Color amaillo gris | a químico |
| Punto 24 | 7,29 | 16,3 | 5,31 | 3,2 | Color gris oscuro | a huevo podrido |
| Punto 25 | 6,51 | 16,8 | 3,45 | 4 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 26 | 6,28 | 16,9 | 0,67 | 4,3 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 27 | 7,21 | 17,4 | 0,49 | 5 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 28 | 7,8 | 17,9 | 0,48 | 3,3 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 29 | 9,12 | 18,5 | 0,38 | 3,3 | Color negro | a huevo podrido |
| Punto 30 | 7,65 | 18,7 | 0,33 | 3 | Color negro | a huevo podrido |

**Parámetros analizados en laboratorio**

Las Tablas 7, 8 y 9 evidencian los resultados obtenidos durante el mes de septiembre de 2012 de los primeros 10 puntos muestreados y que corresponden a las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha.

***Tabla 7.*** *Resultados de análisis de laboratorio del primer muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte alta*

| Análisis realizados en laboratorio | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte alta** | **Coliformes fecales (NMP/100ml) Sustrato definido** | **Coliformes totales (NMP/100ml) Sustrato definido** | **Fósforo total (mg/l) Colorimétrico (Cloruro stañoso)** | **Nitrógeno amonia-cal (mg/l) (Fenato)** | **Nitrógeno total (mg/l) semi-micro Kkeldahl (Fenato)** | **Sólidos to-tales (mg/l) secado 105°C** |
| Punto 1 | 97 | 3998 | 0,12 | 0 | 0 | 0 |
| Punto 2 | 120 | 2981 | 0,11 | 0,01 | 0,1 | 0 |
| Punto 3 | 199 | 2700 | 0,1 | 0,01 | 0,1 | 0,1 |
| Punto 4 | 199 | 3200 | 0,14 | 0,01 | 0,2 | 0,13 |
| Punto 5 | 200 | 4100 | 0,12 | 0,02 | 0,2 | 0,17 |
| Punto 6 | 280 | 22000 | 0,11 | 0,02 | 0,2 | 0,3 |
| Punto 7 | 300 | 22400 | 0,11 | 0,02 | 0,3 | 0,95 |
| Punto 8 | 300 | 23100 | 0,1 | 0,03 | 0,4 | 21 |
| Punto 9 | 100 | 12700 | 0,12 | 0,03 | 0,4 | 50 |
| Punto 10 | 320 | 13460 | 0,13 | 0,03 | 0,4 | 53 |

***Tabla 8.*** *Resultados de análisis de laboratorio del primer muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte media*

| Análisis realizados en laboratorio | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte media** | **Coliformes fecales (NMP/100ml) Sustrato definido** | **Coliformes totales (NMP/100ml) Sustrato definido** | **Fósforo total (mg/l) Colorimétrico (Cloruro stañoso)** | **Nitrógeno amonia-cal (mg/l) (Fenato)** | **Nitrógeno total (mg/l) semi-micro Kkeldahl (Fenato)** | **Sólidos tota-les (mg/l) secado 105ºC** |
| Punto 11 | 400 | 3998 | 0,11 | 0,04 | 0 | 43 |
| Punto 12 | 720 | 25950 | 0,13 | 0,04 | 0,1 | 49 |
| Punto 13 | 19800 | 24100 | 0,17 | 0,33 | 0,1 | 70 |
| Punto 14 | 13950 | 36540 | 0,12 | 0,08 | 0,2 | 80 |
| Punto 15 | 20900 | 45200 | 0,08 | 0,41 | 0,2 | 85 |
| Punto 16 | 23200 | 49100 | 0,1 | 0,03 | 0,2 | 93 |
| Punto 17 | 21400 | 50100 | 0,11 | 0,02 | 0,4 | 105 |
| Punto 18 | 18420 | 54750 | 0,13 | 0,04 | 0,4 | 120 |
| Punto 19 | 12100 | 35860 | 0,12 | 0,04 | 0,4 | 122 |
| Punto 20 | 13000 | 29810 | 0,16 | 0,05 | 0,5 | 124 |

***Tabla 9.*** *Resultados de análisis de laboratorio del primer muestreo en la subcuenca del río Soacha, parte baja*

| Análisis realizados en laboratorio | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte baja** | **Coliformes fecales (NMP/100ml) Sustrato definido** | **Coliformes totales (NMP/100ml) Sustrato definido** | **Fósforo total (mg/l) Colorimétrico (Cloruro stañoso)** | **Nitrógeno amonia-cal (mg/l) (Fenato)** | **Nitrógeno total (mg/l) semi-micro Kkeldahl (Fenato)** | **Sólidos tota-les (mg/l) secado 105ºC** |
| Punto 21 | 325000 | 816000 | 0,07 | 0,75 | 0,96 | 2240 |
| Punto 22 | 81640 | 198000 | 0,18 | 1,11 | 1,25 | 1920 |
| Punto 23 | 4000000 | 19900000 | 0,14 | 1,16 | 1,34 | 1700 |
| Punto 24 | 4460000 | 12900000 | 0,42 | 1,58 | 2,01 | 920 |
| Punto 25 | 7000000 | 298000000 | 4,83 | 2,01 | 3,64 | 350 |
| Punto 26 | 7500000 | 328000000 | 6,85 | 3,64 | 7,91 | 134 |
| Punto 27 | 7750000 | 408000000 | 7,12 | 34,72 | 44,52 | 298 |
| Punto 28 | 35000000 | 248000000 | 8,16 | 90,16 | 114,8 | 605 |
| Punto 29 | 37700000 | 230000000 | 9,59 | 67,22 | 85,11 | 320 |
| Punto 30 | 39000000 | 270000000 | 1,92 | 6,72 | 8,68 | 207 |

En las Tablas 10, 11 y 12, se observan los resultados obtenidos en laboratorio durante la segunda toma de muestras realizada en el mes de octubre de 2012 y que corresponden a los mismos puntos muestreados en el mes de septiembre de las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha.

***Tabla 10.*** *Resultados de análisis de laboratorio del segundo muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte alta*

| Parte alta | Coliformes fecales (NMP/100ml) Sustrato definido | Coliformes totales (NMP/100ml) Sustrato definido | Fósforo total (mg/l) Colorimétrico (Cloruro stañoso) | Nitrógeno amoniacal (mg/l) (Fenato) | Nitrógeno total (mg/l) semi-micro Kkeldahl (Fenato) | Sólidos totales (mg/l) secado 105°C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Punto 1 | 95 | 3916 | 0,11 | 0 | 0 | 0 |
| Punto 2 | 130 | 3220 | 0,12 | 0 | 0,1 | 0 |
| Punto 3 | 210 | 2850 | 0,11 | 0,01 | 0,1 | 0 |
| Punto 4 | 190 | 3050 | 0,13 | 0,01 | 0,1 | 0,11 |
| Punto 5 | 205 | 4200 | 0,12 | 0,02 | 0,1 | 0,21 |
| Punto 6 | 280 | 22000 | 0,11 | 0,02 | 0,2 | 0,35 |
| Punto 7 | 340 | 25380 | 0,09 | 0,03 | 0,3 | 1,25 |
| Punto 8 | 310 | 23850 | 0,11 | 0,03 | 0,3 | 27 |
| Punto 9 | 180 | 18890 | 0,12 | 0,03 | 0,3 | 51 |
| Punto 10 | 330 | 13880 | 0,14 | 0,04 | 0,4 | 57 |

***Tabla 11.*** *Resultados de análisis de laboratorio del segundo muestreo en la subcuenca del río Soacha, parte media*

| Análisis realizados en laboratorio | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Parte media | Coliformes fecales (NMP/100ml) Sustrato definido | Coliformes totales (NMP/100ml) Sustrato definido | Fósforo total (mg/l) Colorimétrico (Cloruro stañoso) | Nitrógeno amoniacal (mg/l) (Fenato) | Nitrógeno total (mg/l) semi-micro Kkeldahl (Fenato) | Sólidos totales (mg/l) secado 105°C |
| Punto 11 | 520 | 5180 | 0,12 | 0,04 | 0 | 40 |
| Punto 12 | 840 | 30270 | 0,13 | 0,03 | 0,1 | 45 |
| Punto 13 | 135200 | 164560 | 0,15 | 0,33 | 0,1 | 75 |
| Punto 14 | 17100 | 44750 | 0,12 | 0,1 | 0,2 | 91 |
| Punto 15 | 21400 | 46280 | 0,1 | 0,45 | 0,2 | 93 |
| Punto 16 | 24100 | 51000 | 0,1 | 0,03 | 0,2 | 97 |
| Punto 17 | 22900 | 53610 | 0,11 | 0,02 | 0,3 | 110 |
| Punto 18 | 21400 | 63600 | 0,12 | 0,04 | 0,3 | 121 |
| Punto 19 | 12500 | 37050 | 0,13 | 0,05 | 0,4 | 125 |
| Punto 20 | 13200 | 47700 | 0,15 | 0,05 | 0,4 | 129 |

***Tabla 12.*** *Resultados de análisis de laboratorio del segundo muestreo en la subcuenca del rio Soacha, parte baja*

| Análisis realizados en laboratorio | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parte baja** | **Coliformes fecales (NMP/100ml) Sustrato definido** | **Coliformes totales (NMP/100ml) Sustrato definido** | **Fósforo total (mg/l) Colorimétrico (Cloruro stañoso)** | **Nitrógeno amoniacal (mg/l) (Fenato)** | **Nitrógeno total (mg/l) semi-micro Kkeldahl (Fenato)** | **Sólidos totales (mg/l) secado 105°C** |
| Punto 21 | 345000 | 866200 | 0,1 | 0,85 | 1,09 | 2320 |
| Punto 22 | 81400 | 197400 | 0,21 | 0,21 | 0,24 | 2200 |
| Punto 23 | 4100000 | 20397500 | 0,3 | 1,32 | 1,5 | 1840 |
| Punto 24 | 4520000 | 13073500 | 0,45 | 1,87 | 2,4 | 970 |
| Punto 25 | 7200000 | 306514200 | 4,92 | 2,25 | 4,05 | 410 |
| Punto 26 | 8200000 | 358613000 | 6,87 | 3,95 | 8,58 | 167 |
| Punto 27 | 8750000 | 460645100 | 7,65 | 35,12 | 45,02 | 305 |
| Punto 28 | 36000000 | 255085700 | 9,16 | 93,16 | 118,61 | 740 |
| Punto 29 | 37900000 | 231220100 | 9,59 | 71,22 | 90,15 | 335 |
| Punto 30 | 40000000 | 276923000 | 2,12 | 7,11 | 7,12 | 221 |

## Discusión

**Identificación y clasificación de los diferentes tipos y puntos de vertido**

De acuerdo con los resultados obtenidos de cada uno de los análisis realizados tanto *in situ* como en laboratorio, se puede decir que el mayor grado de afección ambiental está relacionado con los vertidos de tipo minero; el cual genera un alto impacto en la calidad física y química del agua; aumentando considerablemente la materia sólida y reduciendo la concentración de oxígeno disuelto; los vertidos de tipo domiciliario también generan un alto impacto en la calidad de las aguas, ya que la descarga de materia contaminante resultante de las diversas actividades domiciliarias, en la cual se emplean detergentes, jabones, limpiadores, conservantes, perfumes, drogas, hormonas y otro tipo de sustancias son arrojadas de manera directa a sanitarios, duchas y lavamanos y llegan a través de alcantarillados improvisados o inapropiados a este recurso hídrico, su impacto se ve reflejado en cuanto a la calidad química y microbiológica del agua; aumentando considerablemente la carga de nitrógeno, fósforo y coliformes fecales. Por otra parte los vertidos de tipo industrial, también han afectado seriamente la calidad de las aguas del rio, ya que los vertidos que resultan de la industria manufacturera, de fábricas destinadas a la producción de concentrados, de talleres automotrices y de mecánica, entre otros, producen contaminantes que llegan tanto de forma directa como indirecta a esta fuente hídrica, el vertimiento de estas sustancias impactan la calidad química y microbiológica del agua aumentando de forma considerable la carga de nitrógeno y fósforo y reduciendo la cantidad de oxígeno en las aguas del rio. En cuanto a los vertidos de tipo agrícola y pecuario; también tienen una elevada incidencia en las calidades químicas y físicas del agua, la cual se ve reflejada en la reducción de oxígeno.

**Parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas del rio Soacha**

**Parámetros físicos**

**Color**: De los análisis realizados visualmente (análisis aparente) a cada una de las muestras colectadas de los diferentes puntos de vertido de la subcuenca del rio Soacha, en las tres partes de la subcuenca (alta, media y baja), se puede observar que a partir del punto 9 (Tabla 1), comienza a afectarse seriamente este parámetro físico, ya que las aguas comienzan a cambiar desde una ligera coloración grisácea; posiblemente por la presencia de cierta materia orgánica ácidos húmicos, turba y plancton, propia de la zona; luego se torna de un coloración marrón por la alta presencia de metales como hierro y manganeso producto de la alta actividad minera y por la fabricación de bloque y ladrillo, principalmente en la parte media y baja de la subcuenca y culminar finalmente en la desembocadura en el rio Bogotá en un color negro intenso; esto por el vertimiento de aguas negras domiciliarias y de otras actividades industriales. Vale la pena indicar que la variación de cualquier tipo de color en aguas superficiales muestra una calidad de agua deficiente y no es apta para consumo humano ni animal (Gobierno de Cantabria, 2016).

**Olor**: Los análisis realizados (olfativamente) a cada una de las muestras colectadas de los diferentes puntos de vertido de la subcuenca del rio Soacha indican que a partir del punto 14 (Tabla 2) hasta el punto 17 (parte media de la subcuenca, Tabla 2), comienza a afectarse seriamente este parámetro físico, ya que las aguas comienzan a emitir un leve olor a químico (fármaco); posiblemente por la presencia de químicos empleados en cultivos agrícolas y actividades pecuarias propias de la zona; posteriormente en los puntos 18 (del primer análisis, Tabla 2) y 17 (del segundo análisis, Tabla 5) pertenecientes a la parte media de la subcuenca hasta el punto 22 (del primer y segundo análisis, Tablas 3 y 6) pertenecientes a la parte baja de la subcuenca se percibió un olor a óxido (hierro), por la presencia de algunos metales como hierro y manganeso producto de los vertimientos realizados de actividades mineras ejercidas en la parte media e inicios de la parte baja de la subcuenca. En el punto 23 (Tablas 3 y 6) el olor fue un poco más fuerte (a químico), debido a algunas sustancias químicas empleadas (alcoholes y fenoles) en las diversas actividades industriales realizadas en la parte baja de la subcuenca (vereda Panamá), finalmente desde el punto 24 al punto 30 (Tablas 3 y 6), correspondientes a la parte baja de la subcuenca, comenzó a percibirse un olor a huevo podrido, el cual fue aumentando a medida que se hacía el recorrido del rio por esta zona; este olor es característico de aguas negras domiciliarias por la presencia de ácido sulfhídrico, resultante del empleo de detergentes, jabones y otros elementos de aseo (Raymond, 2002).

La percepción del olor en aguas superficiales no constituye una medida, sino una apreciación, y ésta tiene, por lo tanto, un carácter subjetivo. El olor raramente es indicativo de la presencia de sustancias peligrosas en el agua, pero sí puede indicar la existencia de una elevada actividad biológica. Sin embargo, las aguas que son empleadas para consumo humano y animal, no deben percibir olor alguno; salvo el leve olor a cloro empleado durante el proceso de purificación (APHA-AWWA- AWWA CF., 1992).

**Temperatura**: Los valores obtenidos de temperatura, no muestran cambios significativos en ninguno de los puntos de vertido analizados; el valor menor registrado fue de 6,58°C (en la parte alta de la subcuenca) y el valor máximo obtenido fue de 18,7°C (en la parte baja de la subcuenca), todos los valores obtenidos están dentro de los rangos permitidos, según el Decreto 1594, 1984; el cual establece un valor permisible menor o igual a 40°C.

**Sólidos sedimentables**: Los datos obtenidos para este parámetro físico, no muestran cambios significativos en ninguno de los puntos de vertido analizados tanto en la parte alta como la parte media de la subcuenca; en la parte baja de la subcuenca se observan algunos incrementos en

estos valores de 3,9 en el primer análisis y de 5 en el segundo análisis (Figura 5), pero que están dentro de los límites permisibles según la normatividad colombiana, la cual establece un valor permisible de 10ml/l (Decreto 1594, 1984). Es importante tener en cuenta que las aguas provenientes de fuentes hídricas como es el caso del rio Soacha que vayan a ser empleadas para consumo humano, deben estar libres de cualquier tipo de sustancias disueltas (sales minerales) que alteren sus propiedades fisicoquímicas y biológicas.

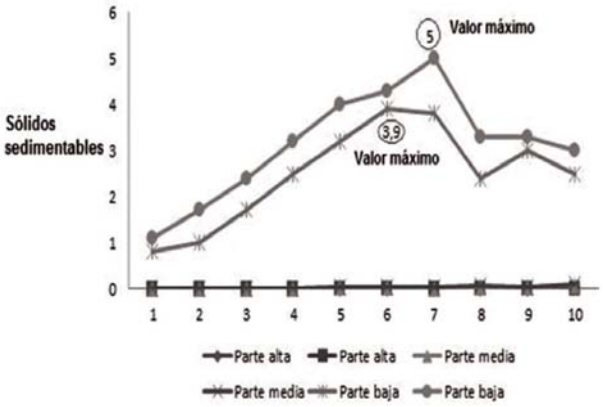


**Figura 4.** Valores de sólidos sedimentables obtenidos en las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha.

**Sólidos totales**. Los datos obtenidos para este parámetro físico no muestran cambios significativos en ninguno de los puntos de vertido analizados tanto en la parte alta como la parte media de la subcuenca; sin embargo se observa una tendencia a aumentar a medida que va avanzando el recorrido del rio a lo largo de la subcuenca; en la parte baja se observan algunos incrementos significativos en los puntos 20, 21, 22 y 23 (Tablas 9 y 12) durante los dos análisis realizados en los meses de octubre y noviembre de 2012, esto es característico de esta zona dado la alta actividad minera y de fabricación de ladrillo y bloque que allí se ejerce; así mismo en los puntos de vertido 26 y 27 (Tablas 9 y 12), también se observan unos incrementos de materia sólida, esto se da por el vertimiento de basuras y otro tipo de desechos producto de las actividades domiciliarias e industriales ejercidas en esta parte de la subcuenca (perímetro urbano del municipio). A pesar que la normatividad colombiana no tiene establecidos los valores máximos permisibles para este parámetro, es importante mencionar que desde parte de la zona media y toda la zona baja de la subcuenca del rio Soacha, se desarrollan diversas actividades mineras, industriales y domiciliarias que vierten sus productos de desecho de manera directa e indirecta al rio acrecentando los problemas de contaminación de este importante recurso hídrico, generando consigo la aparición de insectos, roedores y otro tipo de vectores que ponen en riesgo la salud de los animales y de las personas que se encuentran a sus alrededores (Forero, 2012). En la Figura 6, se muestran los valores obtenidos de sólidos totales en los dos análisis realizados en las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha. La minería es una fuente importante de sustancias contaminantes y de materia sólida que afecta las características fisicoquímicas de aguas superficiales; la medida de sólidos totales es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua, y proporciona una indicación general de la calidad química de esta. Los sólidos totales son la materia sólida que resulta del proceso de secado a 105°C de la muestra de agua analizada (Montalvo, 2009).

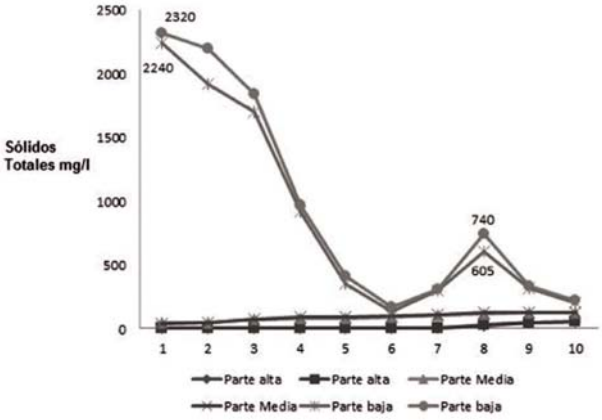


**Figura 5.** Sólidos totales encontrados en las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha.

**Parámetros químicos**

**pH**: los resultados encontrados en cuanto a este parámetro muestran que durante el primer análisis realizado a las aguas del río Soacha en cada una de las zonas estudiadas (partes alta, media y baja) de la subcuenca, no tienen un cambio significativo que altere las características o propiedades químicas del agua, ya que los rangos o valores obtenidos según el Decreto 1594 de 1984, están ubicados dentro del rango establecido para este tipo de análisis; es decir, todos estos valores se mantienen en un rango entre 5.0 a 9.0 con una media promedio de 7,11 y una desviación estándar promedio de 0,15. En la Figura 8, se pueden apreciar los valores máximos y mínimos de pH para cada una de las zonas estudiadas los cuales oscilan entre 6,41 y 8,14; es decir los valores están entre ligeramente ácidos a ligeramente básicos, de acuerdo a la escala de la Figura 7. En los análisis de pH realizados durante la segunda toma de muestras de agua, los cuales reflejaron una media promedio de 7.23 y una varianza promedio de 0.31, en los mismos puntos de vertido y en las mismas zonas de la subcuenca, tampoco se evidenciaron valores significativos en la mayoría de los puntos, salvo en uno de los puntos de la cuenca baja que mostró un valor de 9.12 (Figura 9), los incrementos en los valores de pH, se deben principalmente a la presencia de carbonatos que se forman por la acción del CO2 sobre materiales básicos presentes en las aguas superficiales.

**Figura 6.** Escala de pH en rango de 0 a 14.

Fuente: Limpiology (2012)

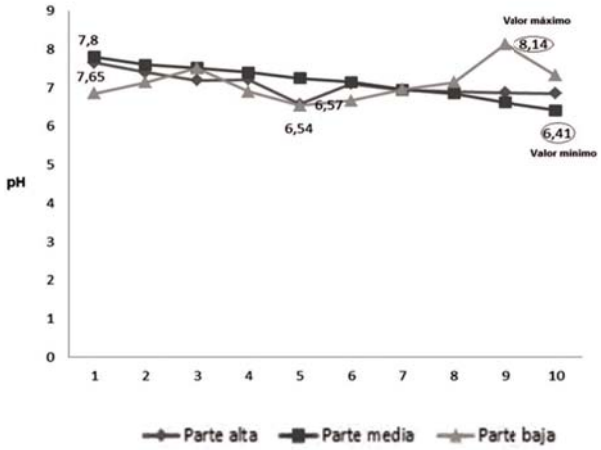


**Figura 7.** Valores de pH, obtenidos durante los primeros análisis de aguas *in situ* de las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha.

Las aguas que poseen valores de pH altos, contienen alta cantidad de carbonatos e iones hidroxilo, así mismo la presencia de algas (en la desembocadura del río en la vereda Bosatama del municipio de Soacha) también elevan los valores de pH, ya que éstas al extraer el CO2 del agua por fotosíntesis aumentan los valores de pH. La alcalinidad alta o baja en aguas superficiales no tiene efectos nocivos para el ser humano, ni para los animales (Gobierno de Cantabria, 2006).

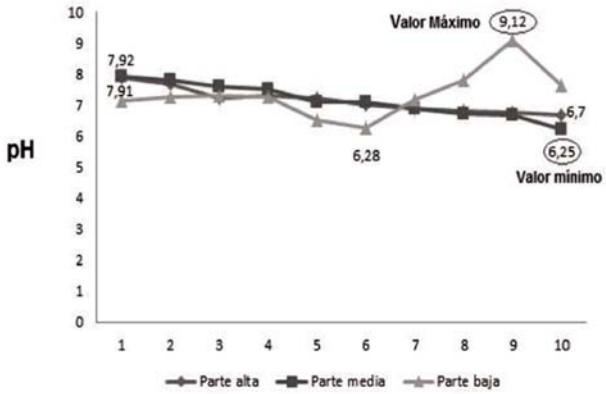


**Figura 8.** Valores de pH, obtenidos durante el segundo análisis de aguas realizado *in situ* de las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha

**Oxígeno disuelto**: Los valores obtenidos para este parámetro químico, muestran que en la parte alta de la subcuenca del *río* Soacha, no se evidencia un descenso significativo en estos valores tanto para el primer análisis, en el cual se obtuvo una media de 6,28 y una varianza de 0,07; el valor máximo obtenido fue de 6.6mg/l y el valor mínimo fue de 5.85mg/l (Figura 10); para el segundo análisis se obtuvo una media de 10,42 y una varianza de 0,63; el valor máximo registrado fue de 6.49mg/l y el valor mínimo fue de 5.17mg/l (Figura 11). Es importante mencionar que en el segundo análisis comenzó a haber una leve disminución del O2 disuelto, posiblemente a pequeños cambios de temperatura registrada en la zona en el mes que se hizo el segundo análisis, estaba haciendo bastante calor (pequeños picos de verano). Los cambios de temperatura pueden aumentar o disminuir los niveles de O2 disuelto en aguas superficiales (Spehar *et al*, 1992).

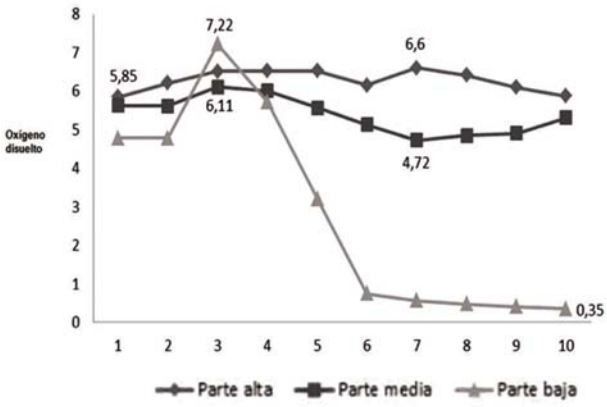


**Figura 9.** Valores de oxígeno disuelto (O2), obtenidos durante el primer análisis de aguas realizado *in situ* de las partes alta, media y baja de la subcuenca del *río* Soacha.

Para la parte media de la subcuenca del *río* Soacha, en el primer análisis realizado se evidencia un descenso significativo en los valores de O2 disuelto en los puntos de vertido 17, 18 y 19, en este análisis se obtuvo una media de 5,39 y una varianza de 0,21; el valor máximo obtenido fue de 6.11mg/l y el valor mínimo fue de 4,72mg/l (Figura 10); para el segundo análisis también se obtuvo una leve reducción de O2 disuelto en el punto de vertido 17, para este análisis se obtuvo una media de 5,57 y una varianza de 0,19; el valor máximo registrado fue de 6,38mg/l y el valor mínimo fue de 4,96mg/l (Figura 11). Es de mencionar que en el segundo análisis comenzó a haber un leve aumento del O2 disuelto respecto al primer análisis, esto posiblemente al cambio de temperatura registrada en la zona, es importante mencionar que en el mes que se hizo el segundo análisis estaba haciendo bastante calor (pequeños picos de verano).

En los resultados obtenidos en la parte baja de la subcuenca se refleja una considerable disminución en los valores de O2 disuelto, tanto para el primer análisis como en el segundo, para el primer caso se obtuvo una media de 2,83 y una varianza de 6,23; el valor máximo obtenido fue de 7,22mg/l y el valor mínimo fue de 0,35mg/l (Figura 10); como se observa en la Tabla 6, en el punto de vertido 23, se obtuvo un aumento considerable de O2 disuelto; esto se debe posiblemente a la turbulencia y caída del agua presentada en esta parte de la subcuenca; la turbulencia y el caudal hídrico aumentan los niveles de O2 disuelto en aguas naturales. En el segundo análisis también se obtuvo una notable reducción de $O_2$ disuelto para la gran mayoría de los puntos de vertido, para este análisis se obtuvo una media de 2,60 y una varianza de 4,98; el valor máximo registrado fue de 6,21mg/l y el valor mínimo fue de 0,33mg/l (Figura 11). Es de mencionar que en el segundo análisis también se evidenció un aumento de $O_2$ en el mismo punto de vertido del análisis anterior, posiblemente por las condiciones descritas anteriormente. En esta parte de la subcuenca se ejerce una alta actividad minera, industrial y residencial, lo cual afecta de manera considerable este parámetro químico por el alto contenido de materia sólida y contaminantes líquidos que son vertidos de manera directa y por escorrentía en esta zona. Según Montalvo (2009), el alto contenido de materia orgánica, la eutrofización y la contaminación por sustancias químicas disminuye circunstancialmente el $O_2$ disuelto en los cuerpos de agua, afectando seriamente la vida de los peces y otras especies acuáticas que allí estén presentes.

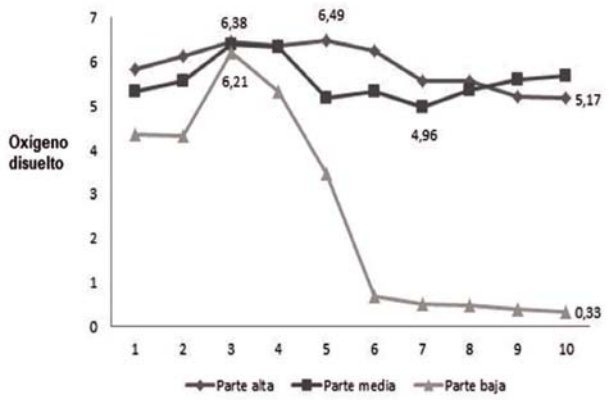


**Figura 10.** Valores de oxígeno disuelto (O2) máximos y mínimos, obtenidos durante el segundo análisis de aguas realizado *in situ* de las partes alta, media y baja de la subcuenca del *río* Soacha.

A pesar que el Decreto 1594 de 1984 reglamenta parcialmente los valores permisibles de sustancias contaminantes en los cuerpos de agua en Colombia, no se definen valores para este parámetro, países como México, Argentina, Ecuador, Perú, Chile, Cuba y otros de la comunidad europea como es el caso de España, establecen que los valores mínimos permisibles para oxígeno disuelto está en un rango mayor o igual a 5.0 mg/l, pues valores inferiores pueden afectar la vida de los organismos que allí viven (Gobierno de Cantabria, 2006). En la Figura 12, se muestran los resultados consolidados de los dos análisis realizados de este parámetro químico, allí se presentan los valores máximos y mínimos de $O_2$ en cada una de las zonas de muestreo, así como la parte más crítica de la subcuenca (parte baja) donde se registran valores por debajo de estándares internacionales de 5.0mg/l.

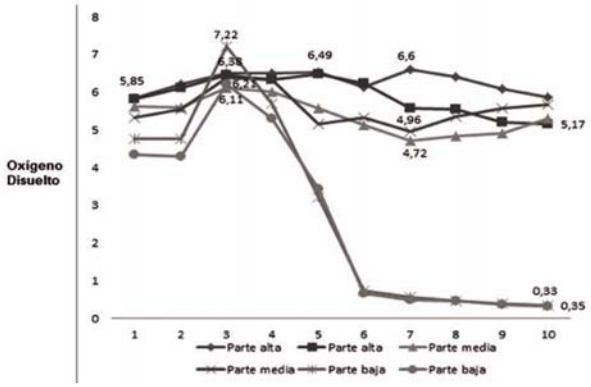


**Figura 11.** Datos consolidados de los dos análisis realizados de Oxígeno disuelto ($O_2$) en cada una de las zonas de muestreo

**Fósforo total:** Los datos obtenidos para este parámetro químico no muestran cambios significativos en ninguno de los puntos de vertido analizados tanto en la parte alta como en la parte media de la subcuenca; sin embargo en la parte baja correspondiente al sector urbano del municipio de Soacha, se observa un aumento significativo en los puntos 24, 25, 26, 27 y 28 (Tablas 9 y 12) durante los dos análisis realizados en los meses de octubre y noviembre de 2012, el aumento de fósforo en esta parte de la subcuenca se debe principalmente al elevado uso de detergentes, jabones y otros productos de aseo que contienen este elemento químico (Lusk, Toor & Obreza, 2013). Mueller & Helsel (1996), afirman que las aguas superficiales con fósforo limitado pueden llegar a ser eutróficos (ricos en nutrientes) cuando la concentración de fósforo en el agua supera sólo 0,02 mg/l. Efroymson, Jones & Gold (2007), indican que el fósforo controla la producción de algas nocivas en la mayoría de las aguas dulces. El exceso de algas puede poner en peligro el agua y restringir su uso para beber y para fines recreativos (Schindler, 1977).

El fósforo en aguas residuales proviene de los residuos sanitarios, así como cuartos de baño, lavandería, cocina. Residuos de aseo contribuyen entre el 30% -70% del fósforo en la forma de ácidos nucleicos y trifosfato de adenosina excretado en las heces; los detergentes (lavandería) y jabones de platos (cocina y sumideros) utilizados en el hogar contribuyen otro 30% a 70% del fósforo (Wilhelm, Schiff & Robertson, 1994). Tjandraatmadja, Pollard, Sheedy & Gozukara (2010), estudiaron varios productos empleaos en el hogar (jabones, limpiadores y productos de cuidado personal) y encontraron que el fósforo se detectó en el 97% de los 156 productos estudiados y que gran parte de éste puede hacer su camino en las aguas residuales domésticas. Se estima que cada persona en países como los Estados Unidos aporta 2,7 g del fósforo total a las aguas residuales por día; de este total, las aguas residuales provenientes del inodoro aportan la mayor cantidad (59%), seguidas de baños, lavaplatos y electrodomésticos (37%) y los trituradores de basura (4%).

A pesar que la normatividad Colombiana no tiene establecidos los valores máximos permisibles para este parámetro, países como México, Argentina, Perú, Chile, Cuba y otros de la comunidad europea como es el caso de España, han establecido como límites máximos permisibles 10mg/l. Es importante mencionar que en esta parte (corredor urbano del municipio de Soacha) correspondiente a la zona baja de la subcuenca del *río* Soacha, las actividades domiciliarias e industriales que vierten sus aguas de desecho de manera directa e indirecta al río afectan e incrementan de manera considerable los índices de contaminación generados por este elemento químico. En la Figura 13, se muestran los valores obtenidos para este parámetro químico, encontrados durante los dos análisis realizados en la parte alta, parte media y parte baja de la subcuenca del río Soacha.

**Nitrógeno amoniacal:** Los valores obtenidos para este parámetro químico no muestran cambios significativos en ninguno de los puntos de vertido analizados tanto en la parte alta como en la parte media de la subcuenca; sin embargo en la parte baja correspondiente al sector urbano del municipio de Soacha, se observa un aumento significativo en los puntos 26, 27 y 28 (Tablas 9 y 12) durante los dos análisis realizados en los meses de octubre y noviembre de 2012, el aumento de nitrógeno amoniacal en esta parte de la subcuenca se debe principalmente al vertimiento de aguas con altos niveles de nitratos producto del elevado desarrollo industrial y urbano (Martínez, Alvarado & William, 2001); a medida que el río abandona la parte urbana del municipio, los niveles de nitrógeno amoniacal van disminuyendo, ya que no se evidencian actividades agrícolas, domiciliarias ni industriales que afecten de manera considerable este parámetro.

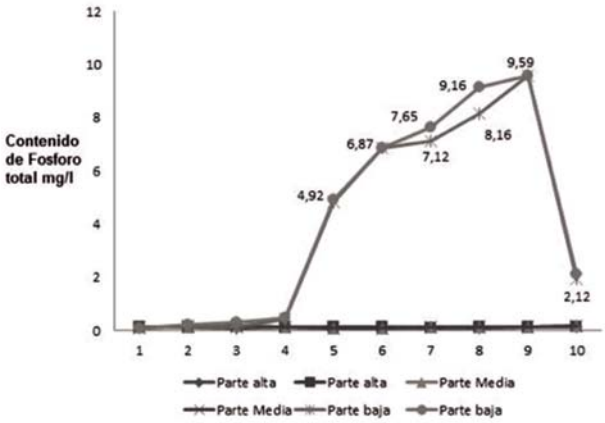


**Figura 12.** Valores de fósforo obtenidos de los dos análisis realizados en las partes alta, media y baja de la subcuenca del río Soacha

Se ha observado que un problema común a muchas industrias es la concentración de nitrógeno amoniacal en sus vertidos, que supera el valor máximo permitido por la legislación. La mayoría de los casos se debe a la unión de las aguas residuales industriales con el vertido residual de aguas sanitarias, donde se origina el nitrógeno amoniacal por reacciones microbianas sobre los residuos orgánicos disueltos (Carreras *et a*l., 2005). Al igual que para el caso del fósforo, la normatividad Colombiana que regula los parámetros y valores permisibles de este tipo de sustancias no tiene establecido este parámetro químico, países como México, Argentina, Perú, Chile, Cuba y otros de la comunidad europea como es el caso de España han establecido como límites máximos permisibles de 10 a 15mg/l. Teniendo en cuenta este valor, es importante mencionar que en esta parte (corredor urbano del municipio de Soacha) correspondiente a la zona baja de la subcuenca del río, las actividades domiciliarias e industriales que vierten sus aguas de desecho de manera directa e indirecta al río afectan e incrementan de manera considerable los índices de contaminación de nitratos y nitritos, los cuales son altamente tóxicos para peces y otros organismos acuáticos que allí habitan (Gobierno de Cantabria, 2006).

La presencia de nitratos normalmente proviene de la disolución de rocas y minerales, de la descomposición de materias vegetales y animales y de efluentes industriales (Carreras *et al.,* 2005). En la figura 14, se muestran los valores obtenidos para este parámetro químico, encontrados durante los dos análisis realizados en las partes alta, media y baja de la subcuenca del río Soacha.

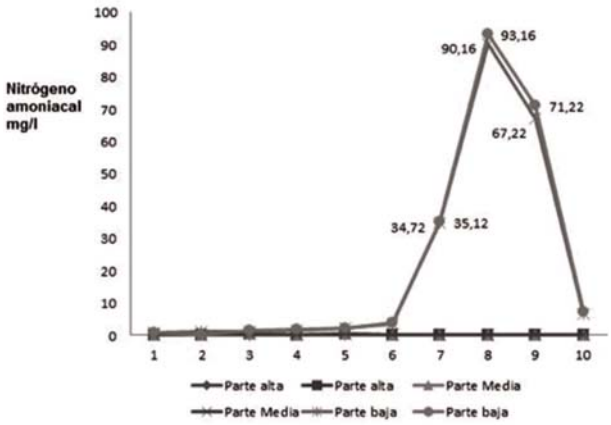


**Figura 13.** Valores de nitrógeno amoniacal obtenidos de los dos análisis realizados en las alta, media y baja de la subcuenca del río Soacha

**Nitrógeno total (Kjeldahl):** Los valores obtenidos para este parámetro químico no muestran cambios significativos en ninguno de los puntos de vertido analizados tanto en la parte alta como en la parte media de la subcuenca; en la parte baja, en la cual se inserta el corredor urbano del municipio, se observa un aumento significativo en los puntos 26, 27 y 28 (Tablas 9 y 12) durante los dos análisis realizados en los meses de octubre y noviembre de 2012, el aumento del nitrógeno total en esta parte de la subcuenca se debe principalmente a la alta actividad industrial y domiciliaria cuyos productos son vertidos de manera irresponsable al río, al abandonar el río el corredor urbano del municipio, comienza a bajar el contenido de nitrógeno, dado a la poca actividad ejercida en esta parte de la subcuenca en la vereda Bosatama. El aumento del nitrógeno en aguas superficiales aumenta el crecimiento de algas que afectan la vida de los organismos allí presentes.

Al igual que los casos anteriores, para el caso del nitrógeno Kjeldhal, la normatividad Colombiana que regula los parámetros y valores permisibles de este tipo de sustancias, no tiene valores establecidos para este parámetro químico; en países como México, Perú y Chile se han fijado como límites máximos permisibles 35 y 40 mg/l. Teniendo en cuenta este valor, es importante mencionar que en esta parte (corredor urbano del municipio de Soacha) correspondiente a la zona baja de la subcuenca, las aguas que se vierten al río como producto de las diversas actividades domiciliarias e industriales tienen alto contenido de nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico que afectan de manera considerable la calidad química y física el agua. En la Figura 15, se muestran los valores obtenidos para este parámetro químico, en los dos análisis realizados en las partes alta, media y baja de la subcuenca del río Soacha.

## Análisis microbiológicos

**Coliformes fecales:** Los valores obtenidos para este parámetro microbiológico, muestran que desde la parte alta de la subcuenca del río Soacha punto de vertido 6 (Tablas 7 y 10), comienzan a incrementarse de manera gradual los valores de coliformes fecales hasta el punto de vertido 12, a partir el punto de vertido 13, hasta el punto 29 (Tablas 8 y 11) correspondientes a la parte media de la subcuenca, se evidencia un aumento considerable de este parámetro, el cual muestra unos pequeños picos de aumento y descenso, posiblemente por las condiciones de la zona y la ubicación de las viviendas. A partir del punto 21 (Tablas 9 y 12) que corresponden a la parte baja de la subcuenca se evidencia un aumento exponencial bastante significativo de coliformes fecales.

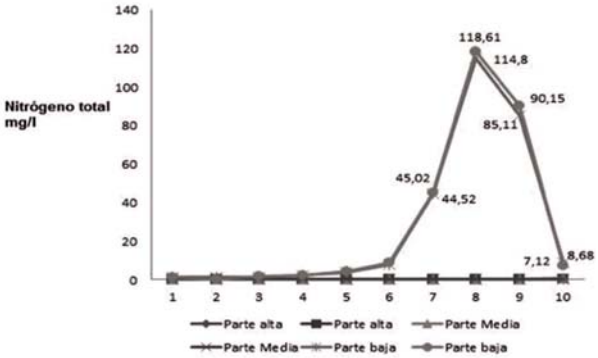


**Figura 14.** Valores de nitrógeno total obtenidos en las partes alta, media y baja de la subcuenca del río Soacha

Esto se debe a la presencia de industrias, fábricas y viviendas que vierten de manera directa o indirecta (pozos sépticos inapropiados) al río las aguas de desecho (aguas negras), así como las heces fecales que son depositadas de manera directa por animales presentes en la zona como felinos y caninos. Los resultados demuestran que a partir del punto de vertido 6 (Tablas 7 y 10), casi todos los demás puntos analizados muestran, según estándares internacionales (criterio máximo permisible de 200 microorganismos por cada 100 ml de agua analizada), que no cumplen el rango permitido. Lo anterior nos indica que hay una notable fuente de contaminación, que en la mayoría de los casos es de origen fecal, este sigue siendo uno de los mayores problemas en el uso del agua en muchas de las áreas en las cuales es fundamental su utilización (Bern *et al*., 1999).

Los indicadores microbiológicos de contaminación fecal clásicos han sido aquellos microorganismos de la flora saprofita del intestino, que se encuentran muy abundantes y en el mayor número de individuos de la población. Los grupos de microorganismos más habituales en heces humanas son *Bacteroides fragilis,* y *Escherichia coli*. Muchos de estos microorganismos no son exclusivos del intestino humano, sino que forman parte también de la flora intestinal de diversos animales de sangre caliente. Esto es importante, ya que la contaminación fecal causada por animales puede entrañar riesgos sanitarios, por lo que hay que considerar los microorganismos más abundantes y frecuentes en las heces de los animales, sobre todo en los de producción (vaca, cerdo, oveja, caballo, gallina, pato y pavo). En todos ellos encontramos coliformes, que son los microorganismos con mayor frecuencia encontrados (Ureña, 2009).

Sabiendo que el Decreto 1594 de 1984 no establece los criterios de calidad admisibles para este parámetro, es importante mencionar que desde la parte media de la subcuenca, hasta la desembocadura del rio en la vereda Bosatama, se evidencia un alto contenido de coliformes fecales que ponen en riesgo la salud de las personal y animales que se encuentran a sus alrededores; ya que esto incrementa la migración e insectos, roedores y otros vectores que acrecientan el problema. En la figura 16, se reflejan los resultados consolidados de los dos análisis realizados de este parámetro microbiológico, allí se presentan los valores obtenidos en cada una de las zonas estudiadas, así como los valores máximos obtenidos en el segundo análisis, efectuado en noviembre de 2012, de la subcuenca parte baja donde se registran los mayores valores.

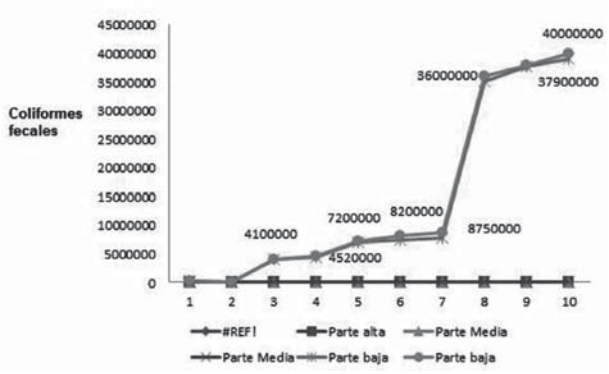


**Figura 16.** Coliformes fecales obtenidos en las partes alta, media y baja de la subcuenca del rio Soacha

**Coliformes totales:** Los valores para las coliformes totales muestran el mismo comportamiento en cada una de las zonas estudiadas de la subcuenca el río Soacha, por ende no es necesario describir los causales de su incremento, ya que están muy asociados con los descritos anteriormente.

## Conclusiones

Los tipos de vertido domiciliario, industrial y minero son los responsables directos de la contaminación del río Soacha en la parte baja de la subcuenca.

La contaminación del río Soacha en su parte media y baja es generada por los altos niveles de fósforo, nitrógeno y heces fecales que son vertidas de manera directa o indirecta al río, como producto de las diversas actividades domiciliarias, industriales y mineras ejercidas.

La parte baja de la subcuenca del río Soacha es la zona que presenta más problemas de contaminación del recurso hídrico.

Las autoridades ambientales y municipales de Soacha deben tomar medidas efectivas que permitan controlar el tipo de vertimientos que son arrojados al río y proponer programas y proyectos encaminados a su recuperación y conservación.

## Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a la Alcaldía Municipal de Soacha, a la junta de acción comunal de la vereda Fusungá y a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por hacer posible la realización de esta investigación, la cual es de alto impacto para las comunidades del municipio, asentadas a lo largo y ancho del rio Soacha.

## Literatura citada

1. APHA-AWWA- AWWA CF. (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid España.
2. Barceló, D. (2003). Emerging pollutants in water analysis TrAC Trends in Analytical Chemistry. Vol. 22. 14-16 p.
3. Bern, C., Hernández, B, López, M.B., Arrowoo, M.J., Álvarez, M De Mérida, A.M., Hightower, A. W., Venczel, L., Herwaldt, B.L. & Klein. R.E. (1999). Epidemiologix studier of cysclospora cayetanensis in Guatemala. *Emerging infectious diseases. Vol. 5.* No. 6:458 – 472.
4. Bester K. (2007). Personal care Compounds in the Environment. Pathways, Fate and Methods for determination. Ed. Wiley VCH, Alemania. 297-305p.
5. Candela Lledó L. (2007). Contaminación de las aguas subterráneas: tipo doméstico e industrial. Departamento de Ingeniería del Terreno y Geociencias. (Tesis de maestría) Universidad Pedagógica de Colombia. 85-89p.
6. Carreras C., Francesc, E., Coda, M., Rueda H., A.; Peña H., R. & Pujol, O. (2005). Eliminación del nitrógeno amoniacal en aguas sanitarias residuales. *Revista de ingeniería química Nº. 420*:161-168p.
7. Christian G. (2004). Non-regulated water contaminants: emerging research *Environmental Impact Assessment Review, Volume 24*: 711-732.
8. Contraloría General de la Republica (2010). Recuperado de: http://www.contraloriagen.gov.co/
9. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. (2007). Estudios mediombientales de la cuenca del río Bogotá. Folletos.
10. Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos. Recuperado de: http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617.
11. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2010) Censo experimental de población y vivienda en el municipio de Soacha. Departamento administrativo Nacional de estadística dirección de censos y demografía Bogotá, D.C. Recuperado de: http://190.25.231.247/books/ld_10752_ej_5.pdf.
12. Efroymson, R.A., Jones, D.S. & Gold, A.J. (2007). "An Ecological Risk Assessment Framework for Effects of Onsite Wastewater Treatment Systems and Other Localized Sources of Nutrients on Aquatic Ecosystems." *Human and Ecological Risk Assessment 13*:574-614p.
13. Empresa de salud ESE del municipio de Soacha (2012) Recuperado de: http://esesoacha.gov.co/SEDES.html.
14. Forero A., G. (2012). Información obtenida directamente de la zona de estudio durante las visitas de recorrido y de toma de muestras.
15. Fundación planeación ecológica y Ecoforest. (2011). Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá Subcuenca del Río Soacha - 2120-07. Soacha Colombia.
16. Gobierno de Cantabria. (2006). Vigilancia de las aguas litorales periodo 2005-2006. Tomo III Documento de síntesis. Recuperado de: http://dma.medioambientecantabria.es/estudios/Red_calidad/sintesis.pdf
17. Limpiology (2012). Escala de pH. Recuperado de: http://www.limpiology.es/que-es-el-ph/
18. Lusk, M., Toor S.G., & Obreza, T. (2013). Onsite Sewage Treatment and Disposal Systems: Phosphorus.University of Florida.IFAS. Recuperado de: http://edis.ifas.ufl.edu/ss551.
19. Martínez, G., Alvarado, J. & William, W. (2001). Estudio físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río Manzanares. *Interciencia Vol. 26* No. 8. 342 - 351p.
20. Montalvo, J. F. (2009). Dissolved oxygen and organic matter in inner water bodies of the Sabana - Camagüey Archipelago, Cuba.
21. Mueller, D.K., & D.R. Helsel. (1996)."Nutrients in the Nation's Waters Too Much of a Good Thing?" U.S. Geological Survey Circular 1136. Recuperado de: http://pubs.usgs.gov/circ/circ1136/.
22. Municipio de Soacha (2012). Recuperado de: http://www.soacha-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1490062
23. Pinto ED. (2005). Desplazamiento no es un juego de niños. Aproximación a las condiciones de la infancia y la familia en situación de desplazamiento reubicadas en el municipio de Soacha. *Revista del Departamento de Trabajo Social, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia 7,* 111-123p.
24. Raymond, C. (2002). Química de Chang. Séptima edición. Editorial Mc Graw-Hill. Madrid España.
25. Sancha, A. M. (2002). Evaluación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas con compuestos orgánicos volátiles. Caso de la ciudad de Santiago de Chile. XXVIII Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. México.
26. Sánchez–Chardi, Peñaroja A., Olivera, C., A., & Nadal, J. (2007). Bioaccumulation of metals and effects of a landfill in small mammals. Part II. The wood mouse, Apodemus sylvaticus. *Chemosphere 70:* 101–109p.
27. Schindler, D.W. (1977). "Evolution of Phosphorus Limitation in Lakes." Science 195:260p.
28. Simonich, S.L. (2000). Trace analysis of fragrance materials in wastewater and trated wastewater. *Environ. Sci. Technol. 34*:959-965p.

**29.** Spehar, R.L., Christensen, G.M., Curtis, C., Lernke, A.E., Norberg, T.J. & Pickering, Q.H. (1992). Effects of Pollution on Freshwater Fish. *Water Pollution Journal WPCF 54* (6):877-922 p.

**30.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. (2000).

**31.** Tallon, P. & Magajna, B. (2005). Microbial indicators of faecal contamination in water: a current perspective. *Water, air, and soil pollution 166*,139-166p.

**32.** Tjandraatmadja, G., C. Pollard, C. Sheedy, & Gozukara, Y. (2010). "Sources of Contaminants in Domestic Wastewater: Nutrients and Additional Elements from Household Products." CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship.

**33.** Ureña, J. (2009). Manual de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de aguacate. Recuperado de: http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00191.pdf.

**34.** Wilhelm, S.R., S.L. Schiff, & Robertson, W.D. (1994) "Chemical Fate and Transport in a Domestic Septic System: Unsaturated and Saturated Zone Geochemistry." *Environmental Toxicology and Chemistry 13*:193-203p.

**35.** Yates, M.V. (2007). Classical indicators in the 21st century-far and beyond the coliform. *Water Environmental Research 79* (3): 279-86p.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 06 de abril de 2015
Aceptado: 27 de mayo de 2015

# Restauración ecológica en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus Labill* y *Acacia melanoxylon R. Br.*

# Ecological restoration in forestry plantations of *Eucalyptus globulus Labill* and Acacia *melanoxylon* R. Br.

## *Restauração ecológica em plantações florestais de Eucalyptus globulus Labill e Acacia R. Br melanoxylon*

**Lina Rocío Guio Cortés[1], Jairo Solorza Bejarano[2] & Leslie Yaneth Leal Mejía[3]**

[1]Ingeniera Ambiental. [2]Biólogo, Magister en Educación y Gestión Ambiental, Candidato a Magister en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia -UPTC. [3]Bióloga, Especialista en Docencia Universitaria, Magister en Ciencias - Biología

[1, 3]Programa de Ingeniería Ambiental. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD, Calle 14 sur No. 14-23 piso 5. Bogotá, Colombia. [2]Programa de Investigación en Restauración Ecológica. Subdirección Científica. Jardín Botánico José Celestino Mutis. Bogotá. Colombia.

[1]lrguioc1601@gmail.com, [2]jsolorza@jbb.gov.co, [3]leslie.leal@unad.edu.co

### Resumen

El aumento en la degradación de las condiciones naturales del ecosistema de los cerros orientales de Bogotá, Colombia, ha promovido la generación de nuevas estrategias que permitan restaurar ecosistemas de forma integral y adecuada, de acuerdo con sus características. Los escenarios de plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus Labill* y *Acacia melanoxylon R. Br* han sido intervenidos con procesos de restauración ecológica, generando una disminución en el impacto ocasionado al suelo por los fuertes procesos erosivos inherentes a estas especies. En este artículo de investigación se hace una revisión de los casos reportados de restauración ecológica realizados en *E. globulus Labill* y *A. melanoxylon R. Br*, con el fin de identificar actividades que puedan complementar la gestión realizada en restauración ecológica en Bogotá D.C. Se concluye que las actividades de restauración ecológica se deben desarrollar siguiendo un orden lógico teniendo en cuenta el principal objetivo de esta estrategia. Resumiendo las actividades de restauración ecológica deben iniciar con una caracterización de las especies que se encuentran en la zona y la vegetación típica. Posteriormente se deben implementar las estrategias más adecuadas acorde con las características de la región, con el fin de reintroducir las especies nativas, de forma paulatina. Es necesario realizar un seguimiento y control constante con el fin de procurar el mayor éxito en las actividades de restauración realizadas.

**Palabras clave:** restauración ecológica, plantaciones exóticas, degradación, *Eucalyptus globulus* Labill, *Acacia melanoxylon* R. Br.

### Abstract

The rise in the deterioration of natural conditions associated with the ecosystem in the Eastern

Mountains of Bogotá, has generated new strategies that allow restoring ecosystems in an integral and appropriate way, according to their characteristics. The scenarios in the forestry plantations of *Eucalyptus globulus* Labill and *Acacia melanoxylon* R. Br are cultivated, They have been intervened with ecological restoration processes reducing the impact on the ground, due to the strong erosive processes inherent to these species. In this article, a summary of the reported cases of the ecological restoration made on *E. globulus* Labill and A. *melanoxylon* R. Br, is conduced in order to identify activities that complement the work done on the ecological restoration in Bogotá D. C. It was concluded that the activities of ecological restoration must be developed in a logical order taking into account the main objective of this strategy. The activities of ecological restoration must start with a characterization of the species located in the area and the typical vegetation. Subsequently the most appropriate strategies must be implemented in line with the characteristics of the region in order to reintroduce the native species, in a gradual way. It is necessary to perform a follow-up and constant monitoring in order to ensure the greatest success in restoration activities undertaken.

**Key-words:** ecological restoration, exotic plantations, degradation, *Eucalyptus globulus* Labill, *Acacia melanoxylon* R. Br.

## Resumo

O aumento na degradação das condições naturais do ecossistema das montanhas do leste de Bogotá, Colômbia, tem promovido a criação de novas estratégias para restaurar os ecossistemas forma abrangente e apropriada, de acordo com suas características. Cenários de plantações florestais de *Eucalyptus globulus* Labill e *Acacia melanoxylon* R. Br foram operados com os processos de restauração ecológica, resultando em uma diminuição do impacto sobre o solo causada pelos fortes processos de erosão inerentes a estas espécies. Neste trabalho de pesquisa uma revisão dos casos relatados de restauração ecológica feita em *E. globulus* Labill e *A. melanoxylon* R. Br, a fim de identificar as actividades que podem complementar a gestão realizada em restauração ecológica em Bogotá DC é Conclui-se que as atividades de restauração ecológica deve ser desenvolvido em uma ordem lógica tendo em conta o objectivo principal desta estratégia. Resumindo as actividades de restauração ecológica deve começar com uma caracterização das espécies encontradas na área e vegetação típica. Em seguida, devem ser implementadas as estrategias mais adequadas de acordo com as características da região, a fim de reintroduzir espécies nativas, gradualmente. É necessário fazer um seguimento e monitoramento constante, a fim de garantir o sucesso em atividades de restauração realizadas.

**Palavras-chave:** restauração ecológica, as plantações de exóticas, de degradação, Eucalyptus globulus Labill, Acacia melanoxylon R. Br.

## Introducción

La degradación y alteración de la mayor parte de coberturas vegetales nativas de Colombia ha ocasionado diferentes impactos a nivel energético, ambiental, social y económico. (Personería de Bogotá, 2007). En los últimos años se ha evidenciado la degradación de diferentes ecosistemas a nivel mundial, ocasionada principalmente por factores como la transformación y perdida de ecosistemas, sobreexplotación de los recursos naturales, introducción de especies exóticas y contaminación ambiental. (Plan Nacional de Restauración, 2012).

A mediados del siglo XIX y principios del siglo XX, Bogotá fue testigo de la deforestación y degradación de los ecosistemas de los cerros orientales, ante el uso y explotación de los principales recursos naturales de la región (Osorio, 2009). Como respuesta a la búsqueda de materias primas que

permitieran la satisfacción de las necesidades básicas de vida, la población bogotana extrajo leña, carbón vegetal y encenillo, en cantidades moderadas que con la acumulación del tiempo y el constante crecimiento demográfico, ocasionó la disminución de coberturas vegetales y por ende, la aparición de zonas desnudas en las montañas. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006)

Igualmente, durante esta época la aparición de la alfarería y minería artesanal ocasionó impactos ambientales en las características del suelo y las condiciones naturales de los ecosistemas, debido a que estas actividades requerían la remoción de la cobertura vegetal de la zona a explotar, generando problemas de erosión y baja fertilidad de las zonas intervenidas. (Osorio, 2009). Ante esta situación, las instituciones gubernamentales establecieron mecanismos y estrategias tendientes a la recuperación y protección de las zonas naturales de la región, entre las cuales se enfatizó en la necesidad de reforestar los cerros orientales de la ciudad, para lo cual, se emplearon especies vegetales foráneas como *Eucalyptus* spp., A. spp. y *Pinus* spp., teniendo en cuenta su tasa de crecimiento y los beneficios económicos que se podría obtener de estas (Wiesner, 2007).

El INDERENA generó el acuerdo número 30 de 1976 (INDERENA, 1976), como una de las estrategias orientadas a la recuperación de las condiciones naturales de los cerros orientales, mediante el cual se establece esta zona como área de reserva forestal y delega la responsabilidad de su protección y mantenimiento en la entonces denominada Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006). Sin embargo, y a pesar de la proclamación del acuerdo 30 como norma nacional mediante la Resolución 76 de 1977 del Ministerio de Agricultura, en los años posteriores se realizaron una serie de construcciones viales y de viviendas, que intervenían varias áreas pertenecientes a la reserva forestal, aumentando los impactos ambientales de la zona (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006).

Posterior a esto, durante los años ochenta, se generó un crecimiento significativo en la densidad poblacional ubicada en barrios ilegales construidos en los cerros orientales de Bogotá, como los barrios Juan XXIII, las Acacias y, sobre la vía la Calera, los barrios San Isidro, San Luis y la Esperanza (Instituto Distrital de Cultura y Turismo, 2004). Así mismo, durante la década de los 1990 a 2000, continuó la aparición de nuevos barrios, nuevos proyectos de vivienda y establecimiento de canteras (Wiesner, 2007). En el año 2005, mediante la resolución 0463 de 2005 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005), se redefinieron los límites establecidos previamente como zonas de reserva forestal de los cerros orientales de Bogotá, dejando como consecuencia la reducción en 973 ha de la zona considerada como reserva forestal, las cuales fueron incluidas como zonas pertenecientes al área urbana de Bogotá.

Actualmente, los cerros orientales de Bogotá se han recuperado paulatinamente de la pérdida de la cobertura vegetal, aunque el crecimiento de especies foráneas ha ocasionado impactos ambientales, tales como erosión del suelo y alteración de las características naturales del ecosistema. (Instituto Distrital de Cultura y Turismo, 2004). Por esta razón, y ante el crecimiento de la preocupación por el equilibrio y conservación del ambiente, se han establecido nuevas estrategias tendientes a la recuperación y restauración de las condiciones naturales de los ecosistemas típicos de esta región (Wiesner, 2007).

La restauración ecológica es una de las principales estrategias de recuperación de ecosistemas, ya que emplea herramientas acordes a los requerimientos a nivel ambiental, social y económico de la zona afectada. (Plan Nacional de Restauración, 2012). En esta investigación, se analizó la información disponible sobre actividades de restauración ecológica que se han desarrollado en escenarios de plantaciones exóticas, que puedan adaptarse y utilizarse como acciones de restauración en los planes que se están

desarrollando para la recuperación de ecosistemas en los cerros orientales de Bogotá D.C.

## Materiales y métodos

En esta investigación se realizó una revisión bibliográfica a nivel nacional e internacional de diferentes fuentes de información de índole científica, tales como revistas indexadas y repositorios de entidades científicas reconocidas; empleando como tema central para la búsqueda escenarios de restauración ecológica en zonas de plantaciones exóticas, especialmente *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon* R. Br.

## Resultados y discusión

Se encontraron diversos artículos y publicaciones de índole científica relacionados con actividades de restauración ecológica en escenarios de plantaciones forestales exóticas, permitiendo de esta manera realizar un acercamiento y recopilación sobre las metodologías, actividades y resultados obtenidos durante la implementación de dichas investigaciones. En la Tabla 1, se presentan los aspectos relevantes de 20 estudios de caso revisados, organizados por continente y teniendo en cuenta los países que presentan mayor número de estudios de caso en restauración ecológica:

***Tabla 1.*** *Aspectos relevantes de los estudios de caso de restauración ecológica considerados.*

| Continente | País | Estudio de caso | Aspectos comunes | Aspectos diferentes |
|---|---|---|---|---|
| América del Sur | Chile | Efectos de las plantaciones de E. globulus Labill en la fuente hídrica del este de la Cordillera de la Costa de Biobío. | Impactos ambientales ocasionados por las plantaciones forestales de E. globulus Labill. | Presenta seguimiento a las variables de caudal y precipitación que afecten la fuente hídrica estudiada. |
| | | Estudio de las propiedades hidrológicas del suelo y características de la exportación de sedimentos en una microcuenca, en dos escenarios de plantaciones; La primer zona de estudio con plantaciones de bosque nativo y plantaciones de E. globulus Labill. | Seguimiento puntual a los efectos ocasionados por las plantaciones exóticas en el suelo y las variables hidrológicas, teniendo en cuenta la comparación con la zona de estudio con plantaciones nativas de la región. | Comparación de las características de una zona con plantaciones nativa y otra con plantaciones exóticas de E. globulus Labill. |
| | Colombia | Caracterización de las zonas que presentan plantaciones exóticas en el Distrito Capital. | Actividades necesarias para realizar la restauración ecológica de zonas con plantaciones exóticas. | Presenta las actividades y competencias de las diferentes entidades distritales en la participación de las actividades de restauración ecológica. |
| | | Se evaluó la capacidad de regeneración de Acacia melanoxylon R. Br, en sitios donde se han implementado actividades de restauración ecológica. | Evaluación de los efectos ocasionados al ambiente por la regeneración de la especie en estudio. | Presentan el seguimiento a las variables de crecimiento de los individuos empleados en las áreas intervenidas. |
| | | Impactos ambientales ocasionados por la introducción de individuos de A. melanoxylon R. Br, e zonas ganaderas del Cauca. | Efectos ocasionados por la siembra de individuos de A. melanoxylon R. Br y su relación con las demás especies vegetales. | Uso de la Acacia como alternativa para la regeneración de ciertas características del suelo. |

(continuación Tabla 1)

| Continente | País | Estudio de caso | Aspectos comunes | Aspectos diferentes |
|---|---|---|---|---|
| América del Sur | Colombia | Presenta la planeación e implementación de las actividades de restauración ecológica en zonas aledañas a los Cerros orientales de la ciudad de Bogotá, interviniendo principalmente las especies E. globulus Labill y A. melanoxylon R. Br, | Establece las actividades de restauración ecológica y las técnicas empleadas para la dispersión de semillas en los sitios de estudio. | Inclusión de la población del lugar durante la implementación de las actividades de restauración ecológica. |
| | | Presenta las actividades de restauración ecológica que se implementaron en el predio de la presa seca cantarrana. | Se controlaron especies como E. globulus Labill y A. melanoxylon R. Br. | No se evidencia ninguna diferencia con las características de los estudios de casos nombrados anteriormente. |
| | | Se estudia las consecuencias positivas y negativas de emplear la estrategia de nucleación para la restauración ecológica en el parque del Embalse del Neusa. | Selección de las especies vegetales acorde con las características de la vegetación nativa de la región. | Las especies vegetales empleadas para la restauración fueron organizadas en núcleos, y plantadas de forma estratégica de tal forma que se facilite la dispersión de semillas |
| | Uruguay | Estima las tasas de erosión del suelo ocasionados por las plantaciones exóticas de Eucalyptus globulus Labill, empleando el modelo USLE/RUSLE (Ecuación Universal de Perdida de Suelo/Ecuación Universal de Perdida de Suelo Revisada) | Presenta los efectos de las plantaciones exóticas sobre las características naturales del suelo. | Cuantifica la degradación del suelo a través de la estimación de la erosión generada por las plantaciones exóticas. |
| | | Impactos ocasionados por las plantaciones de Eucalyptus spp., en diferentes áreas de Uruguay. | Se realizó seguimiento y control de las variables principales del suelo como pH, acidez intercambiable, humedad relativa, carbono orgánico, etc. | Se caracterizan los diferentes tipos de suelos en los que se realiza el estudio |
| | Venezuela | El estudio se encamino en la comparación y determinación de los efectos ocasionados a cuatro suelos de ladera diferentes; los bosques húmedos, sabanas secundarias, suelos con plantaciones de pinos y Eucalyptus globulus Labill. | Se determinan variables importantes para conocer la calidad del suelo y de la materia orgánica. | Se determinaron las características de los microorganismos de cada uno de los suelos estudiados. |

(continuación Tabla 1)

| Continente | País | Estudio de caso | Aspectos comunes | Aspectos diferentes |
|---|---|---|---|---|
| América del Norte | México | Aspectos ambientales ocasionados por el establecimiento de plantaciones de Eucalyptus globulus Labill en gran escala en áreas tropicales de México. | Afectaciones ocasionadas al ambiente por las plantaciones de Eucalyptus globulus Labill | Presenta medidas de mitigación de las afectaciones del ambiente por las plantaciones de Eucalyptus globulus Labill, aplicables a las características de los ecosistemas tropicales de México |
| | | Aspectos ambientales ocasionados por el establecimiento de plantaciones de Eucalyptus globulus Labill en gran escala en áreas tropicales de México. | Afectaciones ocasionadas al ambiente por las plantaciones de Eucalyptus globulus Labill | Presenta medidas de mitigación de las afectaciones del ambiente por las plantaciones de Eucalyptus globulus Labill, aplicables a las características de los ecosistemas tropicales de México |
| Europa | España | Estado de las zonas de España que tienen plantaciones exóticas y actividades para recuperar la vegetación nativa. | Efectos e impactos ocasionados por la presencia de plantaciones exóticas en un área determinada. | Es un diagnostico general de la situación de las plantaciones exóticas, las actividades propuestas no han sido implementadas |
| | | Implicaciones de las plantaciones de Eucalyptus globulus Labill empleadas para la reforestación, en el suelo. | Efectos ocasionados por las plantaciones en el Eucalyptus globulus Labill., modificaciones en el pH, conductividad, humedad, etc. | Realiza seguimiento a través de los años de las zonas estudiadas. |
| | | Efectos alelopáticos ocasionados por Eucalyptus globulus Labill, sobre las plantaciones nativas de la región Santiago de Compostela. | Impactos ambientales generados por la alelopatía ocasionada por la especie Eucalyptus globulus Labill, | Presenta también los efectos ocasionados en la interacción con demás comunidades vegetales |
| | | Afectaciones que se ocasionan por la descomposición de la hojarasca de Eucalyptus globulus Labill en dos zonas con características diferentes; un bosque ripario en nutrientes y uno pobre, realizando la investigación también con la introducción de vegetación nativa. | Cambios en las características de los suelos de cada uno de los escenarios estudiados, y los efectos ocasionados en cada una de las especies vegetales empleadas. | Se realiza el estudio de caso únicamente con los dos escenarios estudiados. |
| | | Presenta las actividades de restauración ecológica realizadas para la zona desertificada de Albatera. | Se implementaron actividades características de restauración ecológica en la zona afectada | Se implementaron actividades enfocadas a la prevención de la erosión y desertificación de los suelos. |
| | | Presenta un estado del arte a nivel nacional sobre los efectos sobre el suelo que son atribuidos a las plantaciones de Eucalyptus globulus Labill, en España. | Presenta los impactos ambientales positivos que se han logrado determinar acorde con los estudios técnicos y científicos realizadas en áreas de condiciones similares a los sitios de estudio. | Se basa en las percepciones de la población de las zonas de estudio, y también se apoya de los estudios técnicos que han sido desarrollados con anterioridad. |

Las actividades de restauración ecológica cumplen un papel importante en la recuperación de las condiciones naturales tanto ambientales como ecológicas de los diferentes ecosistemas mundiales, a través del uso y mejoramiento continuo de técnicas y tecnologías diseñadas para recuperar de forma adecuada las condiciones naturales. (Capdevila, Iglesias, Orueta & Zilleti, 2006). La presencia de plantaciones exóticas puede generar diversos cambios e impactos en las características naturales de un ecosistema determinado, generando cambios significativos en la vegetación, dinámica y características de los suelos, alteraciones en el régimen hídrico y modificaciones en el balance másico y energético de la biomasa de la región. (Vargas, León & Díaz, 2009). Por esta razón, es importante verificar los cambios que pueden generarse en cada uno de los aspectos anteriormente mencionados.

**Efectos ocasionados por plantaciones exóticas de *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon* R. Br, en el suelo**

Acorde con investigaciones realizadas en Uruguay se ha determinado que las zonas en las que se realizan plantaciones de *E. globulus* Labill, con el fin de emplearlos como materia prima para la producción de papel, tienden a sufrir procesos de compactación debido al uso de maquinarias y la extracción de grandes cantidades de madera en camiones pesados, degradando paulatinamente sus características propias. (Ceccon & Martínez, 1999). Así mismo, para algunas de estas plantaciones se realizan quemas controladas con el objetivo de retirar las especies de hierbas indeseables, limpiar el terreno y facilitar la explotación del suelo, quemando en muchas ocasiones los residuos de *E. globulus* Labill presentes en la zona, y generando a su vez, un aumento en la temperatura del suelo y generando un impacto en la impermeabilidad causando efectos negativos en el drenaje del suelo y disminuyendo la cantidad y calidad de los nutrientes presentes en él (Ceccon & Martínez, 1999).

En Colombia se ha logrado detectar que la especie *E. globulus* Labill genera efectos adversos en la estabilidad del suelo en términos de estructura, realizando la comparación en zonas con dos climas diferentes; el primer estudio se realizó en condiciones de clima húmedo y el segundo en clima seco (Núñez, 2013). En la primera zona estudiada se logró evidenciar que las afectaciones ocurrían en un menor grado con respecto a la segunda, en la cual, además de la estabilidad se vieron afectadas otras características del suelo como la humedad relativa, densidad aparente y permeabilidad. (Rubiano & Garzón, 1989). Las plantaciones forestales exóticas se caracterizan por ser cultivos que tienen altos requerimientos nutricionales, debido a las altas tasa de crecimiento de las mismas (Lobos, 2013). La baja capacidad de desarrollar procesos de reciclaje de nutrientes en los suelos aumenta sus requerimientos, lo que genera una baja fertilidad de los terrenos en los cuales se encuentran plantados (Osorio, 2009). Así mismo, *E. globulus* Labill por alelopatía puede ocasionar aumento en la acidez del suelo, disminuyendo la capacidad de absorción de los nutrientes del suelo por parte del resto de plantas (Wiesner, 2007). Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, indican que las plantaciones de A. *melanoxylon* R. Br cuentan con un amplio potencial de fijación de nitrógeno, mejorando de forma notoria las características y condiciones del suelo, aportando así mismo, amplias cantidades de materia orgánica. (Santiago & Piedrahita, 2012).

**Efectos ocasionados por plantaciones exóticas de *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon* R. Br, en el recurso hídrico**

A nivel hídrico, las plantaciones de *E. globulus* Labill se caracterizan por las grandes cantidades de agua que requieren para su rápido crecimiento, aunque la cantidad de agua absorbida puede variar acorde según el tipo de raíz que presente el árbol (Ceccon & Martínez, 1999). Igualmente, por las condiciones morfológicas de esta especie se disminuye la cantidad de agua lluvia que llega al suelo, minimizando de esta forma la cantidad de agua disponible para absorción; sin embargo, una

de las principales características de los *E. globulus* Labill, es la capacidad de retener parte del agua que se puede presentar en la neblina, equilibrando la cantidad de agua necesaria para su crecimiento. (Huber, Iroume, Mohr & Frene, 2010). Igualmente, las plantaciones de A. *melanoxylon* R. Br, por sus características morfológicas pueden ocasionar un mayor consumo de agua, al requerir mayores cantidades para su adecuado desarrollo, dependiendo igualmente del tamaño de la estructura de los individuos. (Quiroz, Pincheira, Hernández, González, García & Soto, 2014).

**Efectos ocasionados por plantaciones exóticas de *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon* R. Br, en los factores bióticos de un ecosistema**

En el ámbito biótico, uno de los principales efectos ocasionados por las plantaciones de *E. globulus* Labill es el deterioro de los hábitats de diferentes especies de animales pequeños, los cuales a su vez generan un desequilibrio en la cadena trófica propia del ecosistema. (Ballester, Arias, Cobián, López & Vieitez, 1982). La introducción de especies exóticas puede modificar la calidad del agua, alterando las poblaciones de invertebrados acuáticos y la presión de depredación debida a las especies introducidas, variando los patrones de reproducción por la presencia de plantaciones (Plan Nacional de Restauración, 2012). Así mismo, los invertebrados se ven afectados por la presencia de plantaciones de *E. globulus* Labill deteniendo varios de sus procesos vitales para el equilibrio del ecosistema. (Ceccon & Martínez, 1999). En Brasil, se logró determinar que la formación de humus en el suelo se detuvo por la baja presencia de oligoquetas en el municipio de Paraná, ocasionada por las excesivas plantaciones de *E. globulus* Labill en la zona. (Dionisio, 1994).

En Brasil, en la región de Espíritu Santo, se ha logrado determinar que a pesar de la existencia de una amplia zona de plantaciones exóticas de *E. globulus* Labill, se encontró gran variedad de especies animales a causa del adecuado manejo de la zona. (Pinilla & Suarez, 1998). Así mismo, también es importante resaltar que el plantar especies exóticas en un área determinada, puede ocasionar cambios en el ecosistema nativo al introducir especies distintas y que pueden generar presión en el equilibrio del ecosistema. (Azula, 2012).

**Efectos ocasionados por plantaciones exóticas de *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon* R. Br, en la vegetación**

Teniendo en cuenta las afectaciones mencionadas anteriormente, se puede decir que las plantaciones de *E. globulus* Labill ejercen una amplia presión con relación a las especies vegetales que se encuentren aledañas, debido a que se genera una competencia por los recursos hídricos y nutrientes presentes en el suelo, dependiendo de los regímenes de lluvia de la región. (Delgado, Alliaume, García & Hernández, 2006). Así mismo, se ha logrado evidenciar que el potencial alelopático del *E. globulus* Labill es mayor en sitios donde existen regímenes bajos de lluvia o donde se presenta de forma errática, ocasionando que las sustancias toxicas generadas por las plantaciones de *E. globulus* Labill no se diluyan. (Fierro, González, Gallardo, Castro, 2009). Las plantaciones de *E. globulus* Labill generan mayores efectos alelopáticos sobre las plantaciones que son caracterizadas como gramíneas y herbáceas, teniendo en cuenta igualmente las condiciones climáticas de la región en estudio, ya que de contar con regímenes altos de lluvia se facilitaría la escorrentía superficial de las sustancias toxicas, de tal forma que permite el crecimiento de vegetación nativa en medio de las plantaciones de *E. globulus* Labill (Pinilla & Suarez, 1998).

Además, el deterioro de las condiciones naturales de los territorios, especialmente de la densidad de plantación, luminosidad baja y poca cantidad de agua presente en el suelo, ha generado una disminución en el espacio disponible para la germinación y crecimiento de especies representativas de las plantaciones nativas. (Wiesner, 2007). En cuanto a las plantaciones de A. *melanoxylon* R. Br, se logró determinar el potencial alelopático ocasionado a través de la recolección y dilución de la hojarasca producida por ésta, encontrando

que presenta un gran potencial inhibidor de crecimiento, pero con el tiempo, este efecto disminuye notoriamente. (Souto, González & Reigosa, 1993). Por otra parte, en estudios realizados en Galicia, se estableció que la especie A. *melanoxylon* R. Br genera un potencial fuerte de inhibición de la germinación de las especies nativas de esta región. (Hussain, Gonzalez & Reigosa, 2007). Por otra parte, las plantaciones de A. *melanoxylon* R. Br, son empleadas como barreras vivas para el control de determinada vegetación, especialmente cuando se requiere la implementación de sitios silvopastoriles. (Arboleda, Tombe, Morales & Vivas, 2012).

**Principales actividades de restauracion ecologica en escenarios de plantaciones exoticas de *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon* R. Br, implementadas a nivel nacional e internacional**

Para implementar actividades de restauración ecológica de forma adecuada es necesario realizar una revisión y verificación de las características principales de la zona a restaurar, especialmente, para conocer las características, composición y funcionamiento del ecosistema que se degradó, los impactos que se ocasionaron y la magnitud del daño ocasionado; y por último es importante conocer las características de las especies nativas de la región. (Garcés, Peña, Cano-Santana, Villeda & Orozco, 2009). Con el fin de establecer los aspectos físicos, ecológicos y sociales de las áreas a intervenir, se desarrollan encuestas y actividades tendientes a la recolección de esta información básica para el planteamiento de las estrategias de restauración ecológica, incluyendo la generación de planos y mapas cartográficos de la zona en estudio. (Carvallo, 2009). Posterior a esto, se establece la metodología que permita determinar el potencial de restauración de la zona estudiada, empleando técnicas, conceptos o estrategias, teniendo en cuenta la disponibilidad de nutrientes, energía, características climatológicas, geomorfológicas y geológicas del área. (Salamanca & Camargo, 2000). Así mismo, cuando se requiera por la extensión de terreno a estudiar, se pueden dividir las áreas en zonas más pequeñas y plantear estrategias específicas para cada una acorde con la información recolectada de sus componentes físicos, bióticos y sociales. (Chirino, Vilagrosa, Bautista & Vallejo, 2011).

Para continuar, es necesario establecer y definir el tipo de vegetación de la zona y sus respectivas características; cómo se relacionan entre sí, cuál es el estado de la cobertura y si existen o no factores que puedan generar alguna tensión sobre las coberturas vegetales. (Oyarzun, Frene, Lacrampe, Huber & Herve, 2011). Así mismo, es importante identificar los diferentes usos de suelo de la zona, permitiendo de esta forma realizar un cruce entre las diferentes cartografías identificando las áreas donde se debe iniciar con las actividades de restauración ecológica. (Manrique, 2009). A partir de esta información se pueden definir las especies que se emplearán para la restauración ecológica, así como las técnicas y cantidades en que se emplearán. (Chirino, Vilagrosa, Bautista & Vallejo, 2011). Como actividad principal para el establecimiento de las actividades de restauración ecológica, se deben realizar diferentes muestreos de las coberturas vegetales actuales de la zona de estudio, con el fin de conocer e identificar las plantaciones dominantes y los efectos que pudieran ocasionar en el ecosistema de estudio; analizando de igual forma, la fisionomía de estas plantaciones y clasificando el potencial de restauración en alto, medio o bajo acorde con sus características. (Manrique, 2009). Igualmente, se pueden emplear técnicas y actividades que permitan potenciar la presencia de las especies nativas de la región. (Chirino, Vilagrosa, Bautista & Vallejo, 2011).

Para que las actividades de restauración ecológica sean eficientes se deben realizar limpiezas de las zonas a intervenir, en las cuales se retiren las plantaciones forestales exóticas que han ocasionado la alteración del equilibrio del ecosistema, y por ende, la degradación del mismo. (Domingo, 2010). También es importante que durante la limpieza y preparación del área, se recojan residuos orgánicos e inorgánicos que puedan afectar el desarrollo de las actividades. (Garcés, Peña, Cano-

Santana, Villeda & Orozco, 2009). Una de las alternativas más empleadas para la introducción de especies con fines de restauración ecológica, es la nucleación. Esta técnica consiste en organizar las especies a introducir en grupos estratégicos que permitan la aceleración de los procesos de dispersión incrementando el flujo ecológico entre las zonas que han sido intervenidas y las no intervenidas. (Clerici & García, 2001). Así mismo, esta estrategia es recomendable para implementar en zonas extensas ya que disminuye los costos de implementación. (Contreras Rodríguez, Moreno Cárdenas & Barrera Cataño, 2011).

Para la implementación de las estrategias de restauración es necesario que se tengan en cuenta todos los diferentes componentes de un ecosistema. Sin embargo, los principales aspectos a abordar son el suelo, la vegetación y el factor biótico del ecosistema; siendo cada uno de estos factores claves para el éxito de las estrategias de restauración ecológica a implementar. (Manrique, 2009). En el componente de suelo, es importante que se adecuen sus condiciones de tal forma que facilite la introducción de las estrategias a emplear. Por ejemplo, en las zonas en las que se presentan claros es importante establecer coberturas vegetales, coberturas muertas, procesos de fertilización con componentes orgánicos o procesos de encalados o quemas fertilizantes. Por otra parte, al existir suelos con procesos de erosión se pueden emplear coberturas vegetales, instalación de barreras vivas, creación de zanjas, emparejar el terreno y suavizar los taludes. (Camacho, Mejia, 2011). Así mismo, es importante que se controlen las condiciones de la zona al momento de introducir las especies verificando que las técnicas, tecnologías y herramientas empleadas al momento de realizar la siembra de las nuevas especies sean las adecuadas; para esto, es importante también que el suelo haya sido preparado con anterioridad a la siembra. (Chirino, Vilagrosa, Bautista & Vallejo, 2011).

Por último, se debe plantear un programa de seguimiento a los individuos introducidos en la zona de estudio, con el fin de verificar las condiciones de su crecimiento y los efectos que se pudieron ocasionar en el comportamiento de la vegetación de la zona. (Chirino, Vilagrosa, Bautista & Vallejo, 2011). A su vez, con la generación de este programa se puede verificar la dispersión y crecimiento de plantaciones exóticas que hayan podido quedar como residuos de las primeras fases de las actividades de restauración ecológica. (Garcés, Peña, Cano-Santana, Villeda & Orozco, 2009).

## Conclusiones

Las plantaciones forestales de *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon R. Br***,** han ocasionado procesos erosivos en los suelos de los cerros orientales de Bogotá, como consecuencia de sus características físicas y químicas. Las actividades de restauración ecológica que se desarrollan en los cerros orientales de Bogotá han tenido en cuenta la información sobre las actividades que se han desarrollado en otros ecosistemas para el control de estas especies. Aunque en la Vereda Venado de Oro se ha evidenciado la presencia de *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon R. Br,* los procesos erosivos observados no presentan estados tan críticos como los expuestos en algunos de los documentos consultados para el desarrollo de este trabajo. Este hecho puede deberse en gran parte a la presencia de especies como *Weinmannia spp, Clusia spp, Myrsine spp y Oreopanax spp;* que por ser especies nativas de los cerros orientales, han amortiguado gran parte de los efectos negativos de las plantaciones de *E. globulus* Labill y A. *melanoxylon R. Br.*

Las actividades de restauración ecológica se deben desarrollar siguiendo un orden lógico teniendo en cuenta el principal objetivo de esta estrategia. A manera de resumen se puede decir que las actividades de restauración ecológica deben iniciar con una caracterización de las especies que se encuentran en la zona y la vegetación que es típica de esta región. Posteriormente se deben implementar las estrategias más adecuadas acorde

con las características de la región, con el fin de reintroducir las especies nativas, de forma paulatina. (Solorza, 2011).

La definición de las especies a introducir en cualquier zona afectada por la presencia de plantaciones foráneas o exóticas, debe realizarse teniendo en cuenta las características naturales del área intervenida, y las capacidades y características que pueden facilitar su dispersión y crecimiento, tales como composición del suelo, humedad, clima, etc. Por otra parte, siempre se debe procurar la preparación del terreno antes de la plantación de las especies nativas. (Rios, 2010).

Para terminar, después de realizar la siembra de las plantaciones nativas, es necesario realizar un seguimiento y control constante con el fin de procurar el mayor éxito en las actividades de restauración realizadas. Esta estrategia permite conocer las características de propagación de las especies y evaluar si se está realizando de forma adecuada y eficiente, de tal forma que se puedan realizar los correctivos necesarios.

## Literatura citada


1. Alcaldía Mayor de Bogotá. (2006). Plan de Manejo Ambiental Audiencia CAR. Recuperado de: http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Valorizacion_Parques_Naturales/PMA_Cerros_Orientales-Alcaldia_Mayor-2006.pdf
2. Alcaldía Mayor de Bogotá. (2006). Cerros orientales de Bogota, territorio sostenible y patrimonio ambiental: Para sus pobladores actuales, el distrito, la región y la nación. Recuperado de: https://mesacerros.files.wordpress.com/2007/10/documento_para_el_alcaldez.pdf
3. Arboleda, D., Tombe, A., Morales-Velasco, S. & Vivas-Quilla, J. (2012). Propuesta para el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero en sistemas de producción ganadera del Trópico Alto Colombiano. *Bio Agro..11(*1), 154-163.
4. Azula, M. (2012). Caracterización del compost producido a partir de la biomasa de siete especies exóticas e invasoras seleccionadas en el proyecto de restauración ecológica. Recuperado de: :http://repositorio.jbb.gov.co/bitstream/001/500/4/Anexo%203.pdf
5. Ballester, A., Arias, A., Cobián, B. López, E. & Vieitez, E. (1982). Estudio de potenciales alelopáticos originados por *Eucalyptus globulus* Labill, *Pinus pinaster* Ait y *Pinus radiata* D. *Pastos. 12* (2), 239 – 254.
6. Camacho, C., Mejía, A. (2011). Restauración ecológica del campus de la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. *Poliantea. 7(*12).243-270.
7. Capdevila, L., Iglesias, A., Orueta, J. & Zilleti, B. (2006) Especies exóticas invasoras: Diagnostico y bases para la prevención y el manejo. Madrid: Sociedad Anónima de Fotocomposición.
8. Carvallo, G. (2009). Especies exóticas e invasiones biológicas. *Ciencia Ahora. 23(*12). 15-21.
9. Ceccon, E. & Martínez, M. (1999). Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales: aplicación al caso de México. *Revista de ciencia y tecnología de América Interciencia, 24*(6), 352-359.
10. Chirino, E., Vilagrosa, A., Bautista, A. & Vallejo, V. (2011). Un caso aplicado de restauración ecológica para combatir la desertificación en ecosistemas semiáridos degradados: El proyecto piloto de Albatera (España). *Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica. 5* (1). 3-4.
11. Clerici, C. & García, P. (2001). Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar perdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del rio de la plata. *Agrociencia. (1)* 902-103.
12. Contreras Rodríguez, S., Moreno Cárdenas, A. & Barrera Castaño, J. (2011). La nucleación como una estrategia de restauración ecológica en el parque forestal del embalse del Neusa (Cundinamarca – Colombia). *Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecologica. 5* (1). 5-6.
13. Delgado, S., Alliaume, F., García, P. & Hernández, J. (2006). Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus sp*. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia. 10(*2), 95 – 107.
14. Dionisio, J. Tanck, B, Santos, A. Silveira, V. Santos, H. Santos, A. Santos, H. (1994). Evaluación de la población de oligoquetos (tierra) en las zonas degradadas. *Revista de sector de ciencias agrarias. 13*: 1-2, 35-40.
15. Domingo, J. (2010). El eucalipto y los suelos bajo clima mediterráneo. Departamento de ciencias Agroforestales Universidad de Huelva, España.
16. Fierro-Brunnenmeister, N., Gonzalez-Muñoz, N., Gallardo, A. & Castro, P. (2009). Efectos de la descomposición de la hojarasca de especies nativas e invasoras en las propiedades del suelo. Quinto congreso forestal español, septiembre, 2009. Ávila, España.
17. Garcés, J., Peña, M., Cano-Santana, Z., Villeda, M. & Orozco-Segovia, A. (2009). Cambios en la estructura de la vegetación derivados de acciones de restauración ecológica de las zonas de amortiguamiento Biológicas y Vivero Alto. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM, México.
18. Huber, A., Iroume, A., Mohr, C. & Frene, C. (2010). Efecto de plantaciones de Pinus radiata y Eucalyptus globulus sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. *Bosque, 31*(3), 219-230.
19. Hussain, M., Gonzalez, L. & Reigosa, M. (2007). Potencial alelopático de la especie invasora *Acacia melanoxylon R. Br* en Galicia: Efecto sobre los índices de germinación. Universidad de Vigo, España.

**20.** Instituto Distrital de Cultura de y Turismo. (2004). Bogotá: Panorama Turístico de 12 localidades. Alcaldía de Mayor de Bogotá. 20.

**21.** Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente – INDERENA. (1976). Acuerdo 0030 de 1976. Recuperado de: http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22591

**22.** Lobos, D. (2013) Evaluación temprana de restauración ecológica de bosques siempre verde en la Reserva Costera Valdiviana, Región de los Ríos. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Chile.

**23.** Manrique, O. (2009). Guía técnica para la restauración ecológica en áreas con plantaciones forestales exóticas en el Distrito Capital. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA. Bogotá.

**24.** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Plan Nacional de Restauración. Recuperado de: http://www.andi.com.co/Ambiental/Documents/Plan_nacional_de_restauracion_Final_PDF.pdf

**25.** Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). Resolución 0463 de 2005. Recuperado de: http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16272

**26.** Núñez, J. (2013). Respuestas eco fisiológicas y demográficas de *Quercus ilex* L. a alteraciones del balance facilitación / competencia del matorral en un ambiente semiárido. (Tesis doctoral). Universidad de Extremadura, España.

**27.** Osorio, J. (2009). Agua, montañas y ciudad. Los cerros orientales y Bogotá, abasto de agua y evolución ambiental. Bogotá; Instituto de estudios urbanos.

**28.** Oyarzun, C., Frene, C., Lacrampe, G., Huber, A. & Herve, P. (2011). Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal. Bo*sque. 32* (1), 10-19.

**29.** Personería de Bogotá. (2007). Cerros orientales, desafío institucional. Recuperado de: https://mesacerros.files.wordpress.com/2007/10/cerros_orientales_desafio_institucional.pdf

**30.** Pinilla, A. Suarez, A. (1998). Efectos de plantaciones forestales sobre fauna y flora. CONIF, Bogotá, Colombia.

**31.** Quiroz, I., Pincheira, M., Hernández, J., Gonzalez, M., García, E. & Soto, H. (2014). Efecto del volumen radicular sobre el crecimiento de Acacia en vivero y en terreno en el secano de la Región del Biobío, Chile. *Revista Árvore, 38(*1), 155-164.

**32.** Ríos, H. (2010). Coordinar el proyecto de restauración ecológica, rehabilitación y/o recuperación de áreas degradadas en el D.C. y la región que adelanta el Jardín Botánico de Bogotá. Recuperado de: http://jbb-repositorio.metabiblioteca.org:8080/bitstream/001/460/1/informe%20final%20dic_ene11%20HFRiosA%20498_10.pdf

**33.** Rubiano, S. & Garzón, R. (1989). Efectos del Eucalyptus globulus sobre la estabilidad estructural y otras propiedades físicas y biológicas de suelos de ladera en climas húmedo y seco. (tesis de pregrado) Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Agrologia. Bogota

**34.** Salamanca, B. & Camargo, G. (2000). Protocolo Distrital de restauración ecológica: guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá. Bogotá. DAMA. 288.

**35.** Santiago, M. & Piedrahita, E. (2012). Efecto del Peso de la Semilla en el Crecimiento de *Acacia melanoxylon R. Br.* a los 6 Meses de Edad en Tres Condiciones de Suelo. *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín, 47*(1), 125-143.

**36.** Solorza, J. (2011). Evaluación de la regeneración de *Acacia decurrens, Acacia melanoxylon y Ullex europeus* en áreas en proceso de restauración ecológica. *Revista Luna Azul, (34*), 66-80.

**37.** Souto, X., Gonzalez, L. & Reigosa, M. (1993). Estudio de los efectos alelopáticos producidos por partes aéreas de distintas especies arbóreas (Eucalyptus globulus, Acacia melanoxylon, Quercus robur, Pinus radiata) en descomposición en el suelo. Conferencia llevada a cabo en el Congreso Forestal Español, Lourizan.

**38.** Vargas, O., Leon, O. & Diaz, A. (2009). Restauracion ecológica en zonas invadidas por retamo espinos y plantaciones forestales de especies exóticas. (tesis de pregrado) Universidad Nacional de Colombia, Faculta de Ciencias Departamento de Biologia. 305 p.

**39.** Wiesner, D. (2007). Los caminos de los cerros. Bogotá: Multimpresos.

**40.** Wiesner, D. (2007). Plan director (Maestro) del corredor ecológico y recreativo de los cerros orientales Bogotá. Secretaria Distrital de Planeación. Recuperado de: http://cerrosdebogota.org/elcorredor/assets/unidad-norte.pdf


## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 15 de abril de 2015
Aceptado: 25 de mayo de 2015

# Remoción de carga contaminante en aguas residuales industriales a escala de laboratorio

# Removal of pollutant load in industrial wastewater at laboratory scale

## *A remoção da carga poluente das águas residuais na indústria de escala de laboratório*

**Gustavo Adolfo Peña-Hernandez[1], Frank Alberto Cuesta-Gonzalez[2] & Jhon Fredy Betancur Perez[3]**

[1]Ingeniero Químico. [2]Ingeniero Químico, Magister en Finanzas, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. [3]Licenciado en Biología y Química, Especialista en Biología Molecular y Biotecnología, Doctor en Ciencias Agropecuarias

[1]Centro de Comercio y Servicios. [1]Centro para la Formación Cafetera. [1, 2]Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Regional Caldas. Manizales. Colombia. [3]Facultad de Ciencias de la Salud (CIMAD). Universidad de Manizales. Manizales. Colombia.

[1]iqgaph@misena.edu.co, [2]fcuesta@misena.edu.co, [3]jbetancur@umanizales.edu.co

## Resumen

El desarrollo industrial de un país se encuentra relacionado con el uso de sus recursos naturales, es por esto que se deben definir nuevas estrategias de remoción de carga contaminante para cumplir la nueva normatividad de usos de agua y vertimientos líquidos en Colombia. Una de estas alternativas es utilizar bacterias nativas productoras de biopolímero EPS y PHA sintetizadas en laboratorio. Esta investigación tuvo como objetivos determinar la relación que existe entre la producción de biopolímeros y la remoción de $DBO_5$, DQO y SST en un reactor aerobio continuo y realizar la comparación de producción de EPS y PHA entre un reactor tipo batch y un reactor aerobio continuo, con efluentes de dos empresas del sector alimenticio de Manizales, Colombia. Se utilizó un sistema de biorreactores aerobios de flujo ascendente el cual se alimentó de forma continua por medio de tanques de suministro. En la empresa productora de golosinas los mayores valores de remoción fueron de 81,46%, 64,09% y 75,78% para $DBO_5$, DQO y S.S.T respectivamente. Se obtuvieron biopolímeros EPS y PHA en mayor cantidad de 2,38 y 0,667 mg $l^{-1}$ respectivamente. Por otro lado el efluente de la empresa productora de derivados lácteos presentó fermentación de las aguas tratados en los biorreactores, caso que fue eliminado del estudio dada esta contaminación. En conclusión se obtuvieron biopolímeros EPS y PHA en los tratamientos, a la vez que se evidenció la remoción de carga orgánica de las aguas tratadas.

**Palabras clave**: exopolisacáridos, polihidroxialcanoatos, remoción de carga orgánica, tratamiento de agua, biorreactores, efluentes industriales

## Abstract

The industrial development of a country is related to the use of its natural resources, which is the reason why new strategies of removal of pollutant load to fulfill the new regulations of water uses and liquid dumping in Colombia. One of these alternatives is to use biopolymer EPS and PHA producing native bacteria synthesized in laboratory. The objective of this investigation was to determine the relation between the production of biopolymers

and the removal of DBO5, DQO and SST in a continuous aerobic reactor and to compare the production of EPS and PHA in a batch reactor and a continuous aerobic reactor, using the effluent of two companies of the food processing sector located in Manizales, Colombia. An upflow anaerobic sludge blanket reactors system was used, the system was fed continuously using supply tanks. In the sweet goods company effluent the highest values of removal were 81,46%, 64,09% and 75,78% for DBO5, DQO and S.S.T respectively. EPS and PHA biopolymers were obtained in a quantity of 2,38 and 0,667 mg $l^{-1}$ respectively. On the other hand the effluent from the dairy product company showed evidences of fermentation of the waters treated in the biorreactores, this case was eliminated from the study because of the contamination. In conclusion EPS and PHA biopolymers were obtained in the treatments, and the removal of organic load was also achieved.

**Key-words:** exopolysaccharides, polyhydroxyalkanoates, removal organic load, water treatment, bioreactors, industrial effluents

## Resumo

O desenvolvimento industrial de um país está relacionado com a utilização de recursos naturais, é por isso que é necessário definir novas estratégias de remoção da carga de contaminantes para atenderos novos regulamentos de usos da água e as descargas líquidas na Colômbia. Uma destas alternativas é a utilização de bactérias nativas que produzem biopolimeros PHA EPS sintetizados no laboratório. Esta pesquisa teve como objetivo determinar a relação entre a produção de biopolímeros e remoção de DBO5, DQO e SST em um reator aeróbio contínuo e a comparação da produção de EPS e PHA entre um reactor tipo batch e um reator aeróbio contínuo, com efluentes de duas empresas do setor de alimentos em Manizales na Colômbia. Foi usado um sistema de biorreactores aeróbios de fluxo ascendente que é continuamente alimentado através de tanques de abastecimento. Na empresa que produz doces, os maiores valores de remoção foram 81,46%, 64,09% e 75,78% para DBO 5, COD e S.S.T respectivamente. Obtiveram-se biopolímeros EPS e PHA uma maior quantidade de 2,38 e 0,667 mg L-1, respectivamente. Por outro lado, o efluente a partir da companhia produtora de lacticinios, apresentou fermentação das águas tratadas nos biorreactores, sendo eliminado do estudo devido a esta contaminação. Em Conclusão foram obtidos biopolímeros EPS e PHA nos tratamentos, enquanto a remoção de carga orgânica da água tratada era evidente.

**Palavras-chave:** exopolissacarídeos, poli-hidroxialcanoatos, remoção de carga orgânica, tratamento de água, biorreatores, efluentes industriais

## Introducción

Al hablar de desarrollo industrial en un país, se debe hablar indirectamente de los efectos secundarios que éstos conllevan con relación al uso de los recursos naturales. Debido a esta condición de crecimiento económico, se debe crear una serie de medidas para disminuir el impacto ambiental ocasionado, teniendo en cuenta un equilibrio sostenible entre el desarrollo económico industrial y la capacidad de asimilación del medio ambiente en función del aporte de recursos naturales y la recepción de agentes contaminantes que afecten al mismo (Bastidas & Ramírez, 2007).

En la ciudad de Manizales, Caldas, Colombia, las grandes empresas se establecieron en asentamientos industriales no en función del plan de ordenamiento sino en las zonas de su conveniencia para la depuración de sus residuos sólidos como de sus vertimientos líquidos (Bastidas & Ramírez, 2007). La zona industrial Juanchito es uno de estos asentamientos industriales, cuyos vertimientos líquidos afectan en una gran proporción a la quebrada Manizales (Corpocaldas, 2011); de acuerdo a lo establecido por el decreto 3930 de 2010 (aún

no reglamentado), el cual deroga al decreto 1594 de 1984 “usos del agua y vertimientos líquidos”, se obtienen valores específicos para la remoción de cargas contaminantes totales, los cuales ya se encuentran establecidos en la resolución 631 de 2015, mientras que en el decreto 1594 se establecían valores porcentuales, lo cual implica que las empresas del sector apliquen nuevas tecnologías de remoción de agentes contaminantes. Estas tecnologías, dependiendo de las características del efluente industrial tienden a variar, lo cual involucra la creación de nuevas tecnologías de remoción de agentes contaminantes orgánicos para cumplir con la normatividad legal vigente de Colombia.

En función de las alternativas que se han desarrollado para la disminución del impacto ambiental se tiene la biorremediación, y entre sus campos de aplicación más destacados se encuentran la degradación enzimática, la fitorremediación y la remediación microbiana.

Dentro de los procesos de biorremediación se utilizan actualmente las bacterias nativas obtenidas sintéticamente para la depuración de carga contaminante orgánica, además en algunos casos tienen un valor agregado como en el caso de las bacterias utilizadas en esta investigación, las cuales producen diferentes tipos de biopolímeros. Uno de estos biopolímeros son los Polihidroxialcanoatos (PHA) que se definen como polímeros sintetizados por microorganismos, los cuales son acumulados como reserva de carbono y energía. Estos polímeros permiten fabricar bioplásticos que tienen la misma resistencia de los plásticos tradicionales pero como valor agregado es la rápida degradación de estos (Serrano, 2010). Por otro lado los exopolisacáridos son biopolímeros que se constituyen fundamentalmente por unidades glucididcas que se producen por hongos y levaduras; se ha demostrado que las bacterias productoras de este biopolímero tienen la propiedad de retener metales, un ejemplo de estas bacterias es la *Zooglea ramigera,* bacteria que se ha utilizado en el tratamiento de aguas residuales (Paris, 2009). La unión de varias bacterias conlleva a la creación de consorcios bacterianos que se consideran una asociación que actúan como una comunidad donde todos se benefician de las actividades de los demás miembros de este consorcio. A nivel funcional un consorcio bacteriano suma las actividades de todas sus partes, lo cual para la descontaminación de aguas residuales significa que pueden remover carga contaminante orgánica siempre y cuando se mantenga la compatibilidad metabólica y los cambios ambientales en su hábitat permita la coexistencia entre las bacterias que pertenecen al consorcio (Ochoa & Montoya, 2010).

En Colombia se ha visto la biorremediación como una alternativa a problemas de contaminación del suelo y del agua por hidrocarburos, plaguicidas y otros agentes contaminantes (Ecopetrol, 2003), pero se ha encontrado que esta alternativa se centra especialmente en procesos de fitorremediación naturales y en muy pocas investigaciones se analiza la biorremediación por medio de procesos sintéticos (adición de bacterias al proceso de depuración), como las que se muestran a continuación: La empresa ECOPETROL realiza trabajos de investigación de biorremediación con el fin de realizar un diagnóstico inicial de contaminación de suelos y aguas subterráneas por parte de hidrocarburos, además de descontaminar estos a partir de un producto que se encuentra conformado por un consorcio bacteriano nativo que no se encuentra modificado genéticamente; dicho producto tiene la capacidad de degradar compuestos derivados de hidrocarburos para la biorremediación de aguas, suelos y residuos que se encuentran contaminados (Ecopetrol, 2003).

Díaz, Grigson & Grant-Burgess (2002) mediante el uso de consorcios bacterianos extremohalotolerantes para la biodegradación de crudo en ambientes salinos demostraron la efectividad de dichos consorcios en relación a los sistemas tradicionales de biorremediación. En otro trabajo realizado, Quintero (2011) realizó mediante consorcios bacterianos la evaluación del tratamiento biológico para la remoción del color índigo de las aguas residuales del sector textil utilizando

reactores de flujo discontinuo de lecho fluidizado y a escala de laboratorio, demostrando la capacidad de los consorcios bacterianos para la eliminación de la variable color y de la DQO total y soluble. Cuesta (2014) demostró la viabilidad de utilizar bacterias productoras de EPS y PHA en aguas residuales del sector de alimentos con el fin de evaluar la remoción de demanda química, demanda biológica de oxígeno y de sólidos suspendidos totales en un reactor tipo batch, en el cual se recomienda realizar una segunda fase en flujo continuo para ejecutar el posterior escalamiento del sistema a pruebas piloto debido a que la mayoría de los vertimientos industriales son de carácter continuo. Por este motivo es necesario estudiar el tratamiento de estas aguas bajo las condiciones descritas anteriormente

Los objetivos trazados en la presente investigación consistieron en determinar la relación que existe entre la producción de biopolímeros y la remoción de $DBO_5$, DQO y SST en un reactor aerobio continuo de flujo ascendente a escala de laboratorio, además de comparar el nivel de producción de Exopolisacáridos y Polihidroxialcanoatos en un reactor aerobio continuo de flujo ascendente y un reactor tipo batch a nivel de laboratorio.

Debido a que la mayoría de los vertimientos industriales son de carácter continuo fue necesario estudiar el tratamiento de aguas bajo estas condiciones, a la vez de dar continuidad a trabajos de investigación realizados previamente en condiciones de laboratorio (Cuesta, 2014).

## Metodología

Para poder dar cumplimiento a los objetivos planteados, se partió de los resultados obtenidos por Cuesta (2014) donde se tiene la base para la selección de los consorcios bacterianos con los que se trabajó (Tabla 1) en esta investigación, la cual fue la remoción de sólidos suspendidos totales.

***Tabla 1.*** *Selección de bacterias para la realización del proyecto*

| Empresa | EPS | PHA |
|---|---|---|
| Empresa productora de golosinas | SE3, SE4 | SP1, SP3 |
| Empresa productora de derivados lácteos | NP2, NP4 | NE3, NE9 |

Fuente: Cuesta, 2014

**Diseño de los biorreactores y pruebas hidráulicas**
El diseño del sistema de los reactores estaba compuesto por un tanque de almacenamiento de agua con un contenido total de 5 l; este tanque tuvo como función alimentar al biorreactor por medio de una válvula de venoclisis que regulaba el caudal de entrada. El segundo tanque era el biorreactor de flujo ascendente que contuvo el agua residual más los consorcios bacterianos y trabajó con un volumen efectivo de 3,5 l y posteriormente se encontraba un tanque sedimentador, que tenía como función recolectar el agua residual de salida del reactor, a la cual se le realizaron los análisis respectivos. El biorreactor se conectó al tanque sedimentador por medio de una manguera de media pulgada de diámetro. El biorreactor tuvo un sistema de aireación constante.

Se formaron 6 sistemas distribuidos de la siguiente manera:

- Un sistema con consorcios bacterianos productores de EPS, un sistema con consorcios bacterianos productores de PHA y un sistema con un consorcio total de bacterias productoras de EPS y PHA para la empresa de golosinas.

- Un sistema con consorcio total de productoras de EPS y PHA para la empresa de lácteos.

- Un sistema de control para cada una de las empresas.

**Muestreo inicial**

Se realizó un muestreo de 40 l para cada empresa con el fin de alimentar los 4 sistemas con bacterias productoras de biopolímeros más los sistemas de control.

A cada muestra inicial se realizó la medición de los siguientes parámetros:

- pH: mediante equipo portátil multiparámetro WTW 3430 SET F

- $DBO_5$: mediante equipo OXI700 BOD System.

- DQO: mediante kit nano color para análisis por espectrofotometría mediante equipo NANOCOLOR UV/VIS MN Since 1911.

- Sólidos suspendidos totales: mediante método gravimétrico.

Puesta en marcha de los biorreactores, toma de muestras:

Para esta fase se tomó dentro de los biorreactores un volumen de trabajo de 3,5 l, correspondiente al volumen efectivo de cada tanque, los cuáles fueron inoculados al 10% en relación V/V con los consorcios bacterianos descritos anteriormente; estos biorreactores contaron con un sistema de aireación constante para garantizar la condición aerobia de los mismos.

Para garantizar el inicio de la actividad microbiana en el biorreactor se tuvo un tiempo de un día en el cual no se realizó alimentación al mismo.

Pasado el día de inicio del proceso se procedió a la alimentación continua de los biorreactores, teniendo en cuenta el concepto de tiempo de retención hidráulica que se define como el tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento (Resolución 1096 RAS, 2000). En cada tiempo de retención hidráulica de las empresas, en el ensayo en laboratorio se tomaron muestras del tanque sedimentador con el fin de realizar la medición de sólidos suspendidos totales para determinar el comportamiento de la remoción de esta variable en función del tiempo, con base en el criterio de control al pH en el alimentador. Para la empresa productora de golosinas este tiempo fue de 3 días. Para la empresa productora de derivados lácteos este tiempo fue de 12 horas.

Se tuvo especial cuidado al medir el parámetro de pH, puesto que las bacterias mesófilas aerobias crecen en un pH óptimo entre 6,5 – 8 (Tórtora, Funke & Case.2010). Por lo tanto se controló el pH en los alimentadores adicionando pequeñas dosis de solución de NaOH concentrada en caso de que el sistema se encuentre ácido (pH < 6,5) y gotas de $H_2SO_4$ concentrado en caso tal de que el sistema se encuentre alcalino (pH > 8) para conservar esta variable dentro del rango establecido. El pH se midió en cada uno de los biorreactores dos veces diarias, con el fin de monitorear el comportamiento de esta variable; igual se midió en los alimentadores para estabilizar el pH dentro del rango establecido.

**Seguimiento de variables**

Teniendo en cuenta los tiempos de retención hidráulica, se tomaron muestras en las empresas tanto al momento de realizar la alimentación al ensayo en laboratorio como en los sedimentadores con el fin de evidenciar la remoción de la carga contaminante expresada en $DBO_5$, DQO y S.S.T, es decir que los parámetros se medían cada tres días en la empresa productora de golosinas y cada 12 horas para la empresa de lácteos.

**Resultados y discusión**

A los 12 días de iniciado el proceso, fue necesario detener la experimentación debido a que en el biorreactor y en el sedimentador de las aguas

residuales de la empresa de lácteos que contenían bacterias productoras de biopolímeros se fermentaron debido a que los lácteos y sus derivados son altamente perecederos y por ende sus aguas residuales contienen bacterias que ayudan a acelerar el proceso de degradación aerobia (Figura 1).

**Figura 1.** Fermentación aerobia del sedimentador y biorreactor en la empresa de derivados lácteos.

Una vez reiniciado el ensayo solamente con aguas de la empresa de golosinas los nuevos sistemas que se trabajaron con las aguas de esta empresa fueron los siguientes:

- Un sistema con consorcios bacterianos productores de EPS (MES: Mezcla bacterias productoras de exopolisacáridos)
- Un sistema con consorcios bacterianos productores de PHA (MPS: Mezcla bacterias productoras de polihidroxialcanoatos)
- Un sistema con consorcios bacterianos totales, mezcla de EPS y PHA (MTS: Mezcla total de bacterias productoras de biopolímeros).
- Un sistema de control sin bacterias. (CS: Sistema sin bacterias)

Se realizó una nueva marcha de proceso y a los 15 días se realizó una reinoculación de bacterias para garantizar la población de éstas en el biorreactor.

Los resultados en la remoción de cada una de las variables estudiadas demuestran que el tratamiento control (sin bacterias productoras de biopolímero) es el sistema que más porcentaje de remoción promedio presenta en las variables $DBO_5$ (Tabla 2) y S.S.T. (Tabla 4) En la variable DQO (Tabla 3), el sistema que más porcentaje de remoción presentó fue el consorcio total de bacterias productoras de biopolímeros seguido por el sistema control, aunque la diferencia no es significativa; se podría decir que dicho porcentaje es igual (64,09% para el sistema con consorcio total de bacterias vs 64,05% para sistema control).

***Tabla 2.*** *Porcentaje de remoción promedio de DBO5 de los consorcios bacterianos en la empresa de golosinas.*

| | MES | MPS | MTS | CS |
|---|---|---|---|---|
| %Remoción DBO5 | 62,99 | 45,57 | 62,13 | 81,46 |

***Tabla 3.*** *Porcentaje de remoción promedio de DQO de los consorcios bacterianos en la empresa de golosinas.*

| | MES | MPS | MTS | CS |
|---|---|---|---|---|
| %Remoción DQO | 63,90 | 41,68 | 64,09 | 64,05 |

***Tabla 4.*** *Porcentaje de remoción promedio de S.S.T de los consorcios bacterianos en la empresa de golosinas.*

| | MES | MPS | MTS | CS |
|---|---|---|---|---|
| %Remoción S.S.T | 50,95 | 53,39 | 38,01 | 75,78 |

Para realizar la comparación con la normatividad colombiana legal vigente se muestran los valores establecidos por el decreto 1594 de 1984 (Tabla 5).

***Tabla 5.*** *Porcentaje de remoción de carga según la normatividad colombiana legal vigente [Decreto 1594 de 1984]*

| DBO5 Remoción Carga (%) | S.S.T Remoción Carga (%) |
|---|---|
| 80 | 80 |

Analizando los resultados obtenidos con relación a la remoción de la variable $DBO_5$, el sistema más efectivo es el sistema con el consorcio sin bacterias (CS), y adicionalmente es el único sistema que cumple con el parámetro de remoción según la normatividad, igual sucede con la variable sólidos suspendidos totales, pero en el segundo caso el sistema control no alcanza a cumplir con la normatividad.

En las figuras 2, 3, 4 y 5 se muestra el seguimiento de las tres variables relacionadas con la remoción en cada uno de los sistemas, teniendo en cuenta el criterio de tiempo de retención hidráulica de la empresa de golosinas

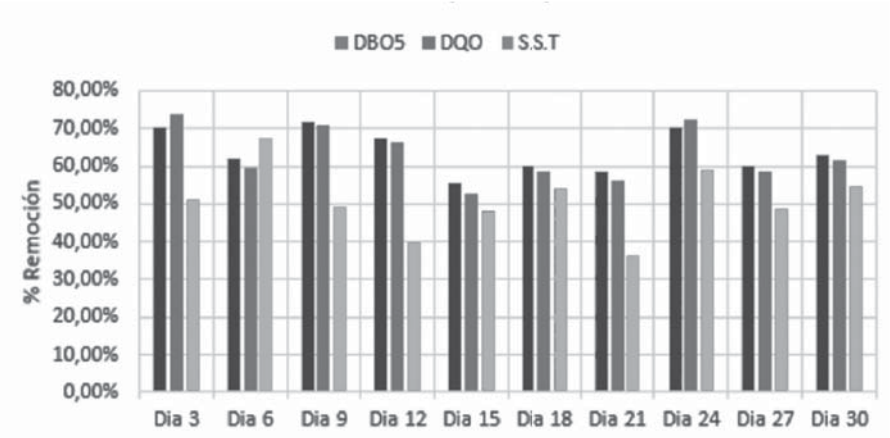


**Figura 2.** Seguimiento del porcentaje de remoción de $DBO_5$, DQO y S.S.T del consorcio de bacterias productoras de EPS en la empresa de golosinas

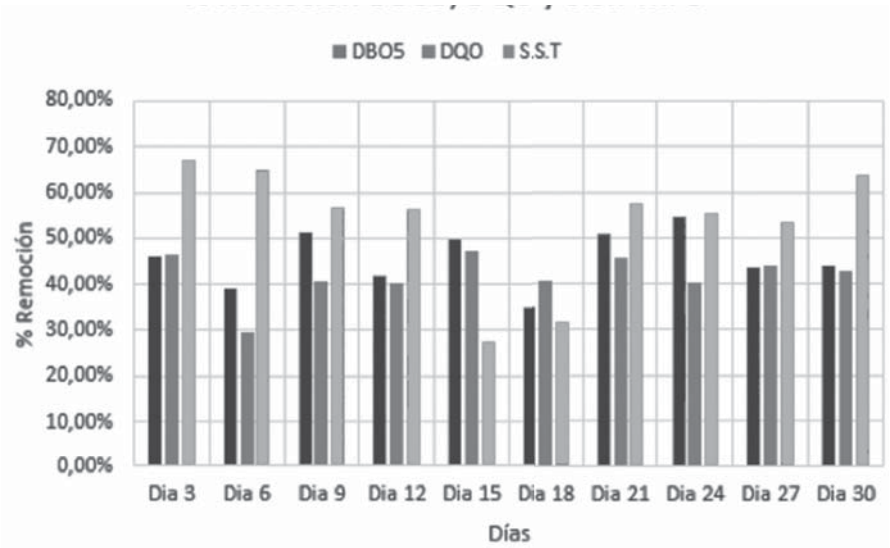


**Figura 3.** Seguimiento del porcentaje de remoción de $DBO_5$, DQO y S.S.T del consorcio de bacterias productoras de PHA en la empresa de golosinas

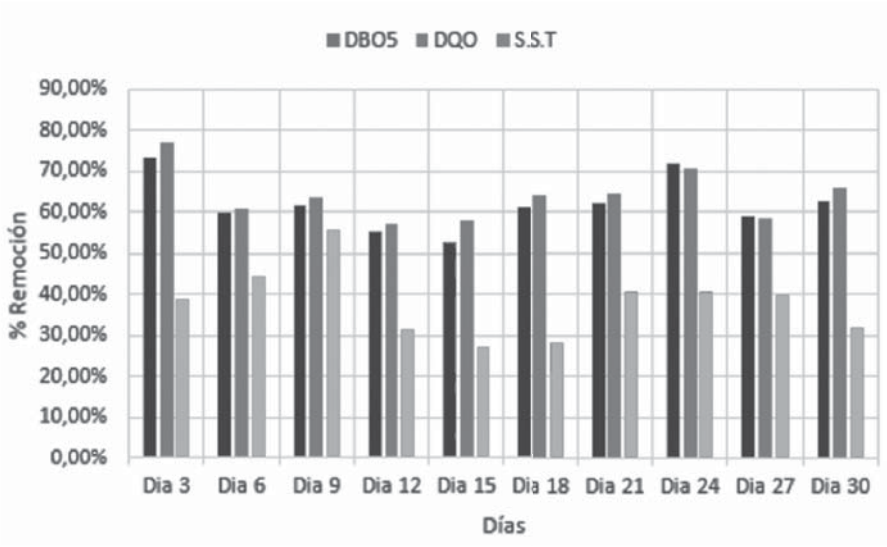


**Figura 4.** Seguimiento del porcentaje de remoción de $DBO_5$, DQO y S.S.T del consorcio total de bacterias productoras de EPS y PHA en la empresa de golosinas

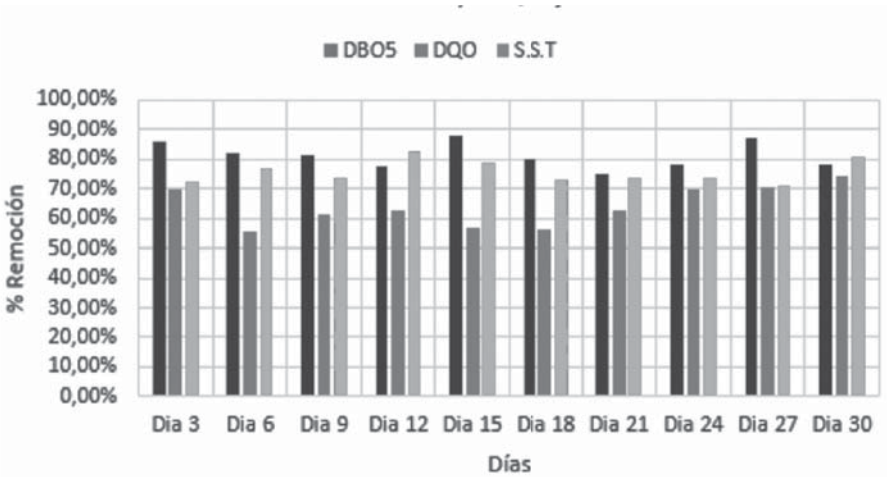


**Figura 5.** Seguimiento del porcentaje de remoción de $DBO_5$, DQO y S.S.T del sistema control en la empresa de golosinas

El comportamiento del porcentaje de remoción de cada una de las propiedades descritas en las Figuras, cada tiempo de retención hidráulica varía debido a que las muestras de agua residual de la empresa del sector de golosinas contienen aguas de diversos procesos de producción y agua de lavado de las áreas y equipos. Se puede observar que el sistema control fue el que tuvo el porcentaje de remoción más alto en las propiedades de estudio ($DBO_5$, DQO y S.S.T), mientras se observa que en el seguimiento de las variables el sistema con las bacterias productoras de PHA son las que tienen los porcentajes de remoción más bajos en las propiedades de estudio ($DBO_5$ y DQO). Cabe resaltar que el sistema de mezcla total de bacterias productoras de EPS y PHA presenta un menor porcentaje de remoción de S.S.T, pero a su vez presenta una mayor cantidad de producción de biopolímero (Tablas 4 y 6). Castillo-Borges *et al.* (2012) realizaron un proceso de

tratamiento de aguas residuales de centrales de sacrificio utilizando un proceso de Contactor Biológico Rotatorio, donde se evaluaron los porcentajes de remoción de $DBO_5$, DQO y SST, además de otras variables. Marín & Correa (2010) Realizaron un análisis de remoción de carga contaminante de aguas residuales domésticas en humedales artificiales utilizando *Guadua angustifolia* Kunth, se evaluaron valores de remoción de $DBO_5$, DQO y nitrógeno. La Tabla 6 compara los valores más altos de remoción de esta investigación con los valores más altos de remoción en los trabajos realizados por Castillo-Borges *et al.* (2012) y Marín & Correa (2010)

***Tabla 6.*** *Comparación de valores de remoción de variables de estudio con otras investigaciones*.

| Variables de remoción | Porcentajes de remoción Peña-Hernández *et al* (2016) | Porcentajes de remoción Castillo-Borges *et al* (2012) | Porcentajes de remoción Marín & Correa (2010) |
|---|---|---|---|
| DBO5 | 81,46 (CS) | 98,35 | 92,21 |
| DQO | 64,09 (MTS) | 97,96 | 84,31 |
| SST | 75,78 (CS) | 48,33 | - |

Los resultados muestran que en el trabajo realizado por Borges-Castillo *et al.* (2012) los valores de $DBO_5$ y DQO son mayores que los resultados de esta investigación, pero que el porcentaje de remoción de SST es menor, igual pasa con el trabajo realizado por Marín & Correa (2010).

Las Figuras 6, 7, 8 y 9 muestran el seguimiento realizado al pH en el biorreactor en cada uno de los sistemas estudiados:

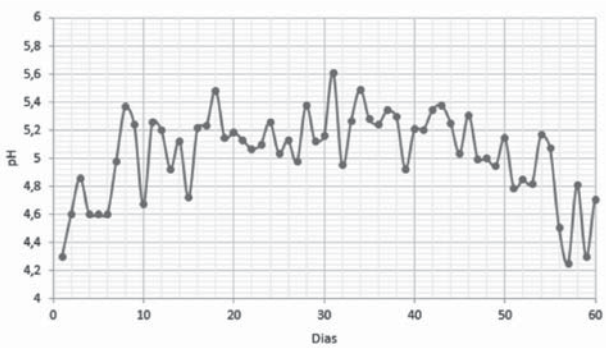


**Figura 6.** Seguimiento a la variable pH en el biorreactor del consorcio de bacterias productoras de EPS en la empresa de golosinas

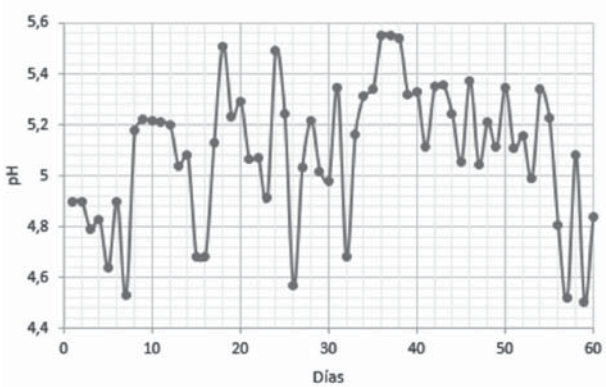


**Figura 7.** Seguimiento a la variable pH en el biorreactor del consorcio de bacterias productoras de PHA en la empresa de golosinas

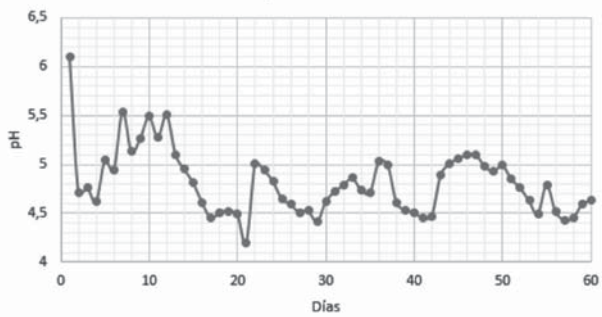


**Figura 8.** Seguimiento a la variable pH en el biorreactor del consorcio total de bacterias productoras de EPS y PHA en la empresa de golosinas.

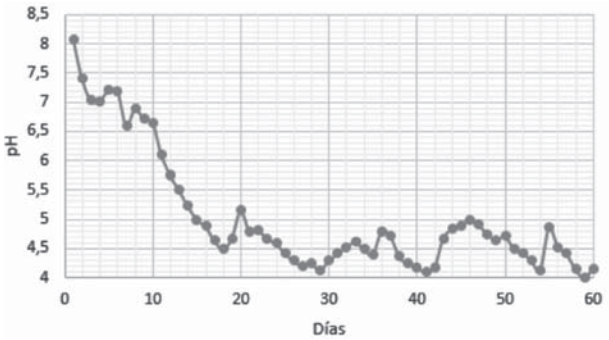


**Figura 9.** Seguimiento a la variable pH en el biorreactor del sistema control en la empresa de golosinas.

Las figuras 6, 7 y 8 muestran un comportamiento de pH similar donde los picos evidencian los momentos en los que se alimentaron nuevas muestras de agua residual al sistema y prácticamente tienen el mismo rango de pH. De esta manera se comprueba la actividad bacteriana dentro de los sistemas. La figura 9 (sistema control) muestra un comportamiento diferente inicialmente debido a que a las aguas no se les realizó un pretratamiento de adecuación de pH entre 6,5 – 8,0 para poder inocular las bacterias, pero se observa un momento en el que el pH del biorreactor alcanza el mismo comportamiento de los ensayos anteriores.

Se encuentra una similitud en la realización de esta investigación y el trabajo realizado por Quintero (2011), ya que el efluente industrial de la industria textil objeto de estudio tiene un pH de 11,78 y se ajusta esta variable a valores entre 7 y 8 antes de entrar a proceso con bacterias para garantizar la efectividad del proceso de remoción de carga contaminante. Las Tablas 7, 8 y 9, muestran la producción de biopolímeros en un proceso de flujo continuo.

***Tabla 7.*** *Producción de biopolímeros en procesos de flujo continúo*

| Sistema | Producción EPS (contaminado) (mg $l^{-1}$) | Producción PHA (contaminado) (mg $l^{-1}$) |
|---|---|---|
| MES | 0,52 | 0 |
| MPS | 0 | 0,667 |
| MTS | 2,38 | 0,035 |
| CS | 0 | 0 |

***Tabla 8.*** *Comparativo de producción de biopolímero EPS entre la presente investigación y el trabajo realizado por Cuesta (2014)*

| Sistema | Producción EPS (contaminado) (mg $l^{-1}$) | Producción EPS Cuesta (mg $l^{-1}$) (Promedio) |
|---|---|---|
| MES | 0,52 | 50 |
| MPS | 0 | 0 |
| MTS | 22,38 | 1841 |
| CS | 0 | 0 |

***Tabla 9.*** *Comparativo de producción de biopolímero PHA entre la presente investigación y el trabajo de Cuesta (2014)*

| Sistema | Producción PHA (contaminado) (mg $l^{-1}$) | Producción PHA Cuesta (mg $l^{-1}$) (Promedio) |
|---|---|---|
| MES | 0 | 0 |
| MPS | 0,667 | 16,667 |
| MTS | 3,51 | 248 |
| CS | 0 | 0 |

Se observa que la producción de biopolímero tanto de EPS como de PHA es más alta en el sistema de mezcla total, tanto en los resultados de esta investigación como en la realizada por Cuesta (2014). Adicionalmente, hay una relación entre la producción de biopolímero en un sistema de flujo continuo y un sistema tipo batch realizado por Cuesta (2014) que se muestra en la tabla 10.

***Tabla 10.*** *Relación entre la producción de biopolímero realizado en esta investigación y el trabajo de Cuesta (2014)*

| Sistema | Relación Producción Biopolímero batch/flujo continuo | Relación Producción Biopolímero flujo continuo/batch |
|---|---|---|
| MES | 96,154 | 0,0104 |
| MPS | 24,998 | 0,04 |
| MTS | 82,261 | 0,0121 |
| CS | 70,655 | 0,0141 |

De acuerdo a los resultados en las Tablas 8, 9 y 10 Se observa que la cantidad de biopolímero obtenido en los sistema tipo batch en el trabajo realizado por Cuesta (2014) es mucho mayor a los valores obtenidos en los sistemas de flujo continuo en los tres casos a la vez que tienen una relación muy alta.

## Conclusiones

Existe una relación entre la producción de biopolímeros y la remoción de S.S.T inversamente proporcional, lo cual se ve reflejado en la mezcla total de bacterias productoras de EPS y PHA, que obtuvo el menor porcentaje de remoción de S.S.T., pero a su vez la mayor producción de biopolímero.

El sistema control (sin bacterias) fue el que más valor obtuvo en la remoción de las variables $DBO_5$ y S.S.T, sin embargo en la variable DQO el sistema de mezcla total remueve mayor porcentaje pero a su vez el sistema control remueve prácticamente el mismo.

Los biopolímeros EPS y PHA obtenidos en los tres sistemas contienen una cantidad mínima en comparación con el proceso en sistemas batch; adicionalmente, los biopolímeros se encuentran contaminados, lo cual indica un rendimiento mucho menor.

Los porcentajes de remoción de cada uno de los sistemas cumple con los parámetros de remoción del decreto establecido actualmente para aguas residuales (decreto 1594 de 1984).

El seguimiento del pH a los biorreactores muestra la actividad aerobia bacteriana en el proceso debido a la disminución del mismo, adicionalmente, se realiza una adecuación de esta variable en los alimentadores, lo que demuestra que el pH es la única variable controlable y una de las más importantes en esta investigación.

Se recomienda el montaje de este experimento en una fase experimental en sitio, pues las variables evaluadas en la presente investigación fueron controladas bajo condiciones de laboratorio conservando la cadena de frío, lo cual podría influir en las propiedades de las muestras al momento de transportarlas. El implementar el montaje de este experimento en sitio implicaría tener condiciones reales de flujo continuo en cada uno de los efluentes industriales de estudio

## Literatura citada


1. Bastidas, J.C. & Ramírez, L.C. (2007) Determinación de la carga contaminante de origen industrial, vertida sobre la quebrada Manizales. (Tesis de especialización). Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
2. Castillo-Borges, E. R, Bolio-Rojas, A, Mendez-Novelo, R.I, Osorio-Rodriguez, J.H & Pat-Canul. R. (2012) Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería. Vol. 16,* No.2, Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán. México. p 83 – 91.
3. Colombia, Ministerio de Salud de Colombia. (Junio 26 de 1984) Decreto 1594. (Publicado en el Diario Oficial No. 38700 de Julio 23 de 1984).

4. Colombia Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). Resolución 1096 de 2000. RAS. Capitulo E: Tratamiento de aguas residuales.
5. Colombia, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. (Diciembre 23 de 2010) Decreto 3930. (Publicado en el Diario Oficial No. 47932 de Diciembre 23 de 2010).
6. Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (17 de Marzo de 2015). Resolución 631. (Publicada el 18 de abril de 2015.
7. Corpocaldas, Chec. (2011) Plan de acción inmediata de la quebrada Manizales 2010. Recuperado de http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1016/PAI%20Cuenca%20Quebrada%20Manizales.pdf
8. Cuesta-González, F.A. (2014). Evaluación de los niveles de remoción en demanda química y bioquímica de oxígeno, y sólidos suspendidos totales de efluentes industriales con bacterias productoras de polihidroxialcanoatos y exopolisacáridos a escala de laboratorio en empresas del sector de alimentos de la ciudad de Manizales (Tesis Magister). Facultad de ciencias contables económicas y administrativas. Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.
9. Diaz, M.P., Grigson, S. J. W. & Grant-Burgess, J. (2002) Uso de un consorcio bacteriano extremo-halotolerante para la biodegradación de crudo en ambientes salinos. *Revista colombiana de Biotecnología. Vol. 4*, núm. 1. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. p 36 – 42.
10. ECOPETROL. (2003). Laboratorio de biotecnología. ECOPETROL S.A. Recuperado de: [http://www.ecopetrol.com.co/paginas2.asp?pub_id=35814&cat_id=153&idCategoriaprincipal=153&cat_tit=LABORATORIO%20DE%20BIOTECNOLOGÍA.].
11. Marín-Montoya, J.P & Correa-Ramírez, J.C. (2010). Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia Kunth.* (tesis pregrado). Facultad de tecnología. Escuela de tecnología química. Universidad tecnológica de Pereira. Pereira. Colombia.
12. Ochoa. D.C. & Montoya, A. (2010) Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. *Revista facultad ciencias económicas. Vol. XVIII*. Diciembre 2010. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. p 55 – 74.
13. Paris-Ripol, X. (2009). Obtención de exopolisacáridos de interés industrial a partir del lactosuero y permeatos. (tesis doctoral). Facultad de farmacia. Departamento de microbiología Universidad de Granada. Granada, España.
14. Quintero-Rendón, L.A. (2011) Evaluación del tratamiento biológico para la remoción del color índigo del agua residual industrial textil, por un consorcio microbiano, en lecho fluidizado (tesis Magister). Facultad Nacional de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, Colombia.
15. Serrano-Riaño, J.C. (2010). Polihidroxialcanoatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos. Una solución frente a la contaminación del medio ambiente. *Revista Teoría y Praxis Investigativa. Volumen 5* - No. 2, Julio - Diciembre 2010. Fundación Universitaria de Área Andina. p 79 – 84.
16. Tortora, G., Funke, B. & Case, C. (2010) Microbiology. Tenth edition. Editorial Benjamin Cummings.


## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 07 de marzo de 2015
Aceptado: 27 de abril de 2015

# Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos

## Characterization of the agroecological leachate from organic residues of crops

## *Caracterização agroecológica de lixiviado de resíduos de culturas orgánicas*

**Carlos Arturo Granada Torres[1] & Yolvi Prada Millán[2]**

[1]Bacteriólogo, Especialista en Microbiología Industrial, Magíster en Administración de Salud Pública, Candidato a Doctor en Biotecnología y Bioprocesos Industriales. [2]Ingeniera Agrónoma, Candidata Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales, Colombia.

[1]Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo – CIMAD. [1, 2]Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Universidad de Manizales, Manizales Colombia.

[1]cgranada@umanizales.edu.co, [2]yolmillan@hotmail.com

### Resumen

Los abonos orgánicos desde tiempos remotos se han trabajado de diferentes maneras, algunos sin ningún tipo de control y manejo adecuado, aun así son utilizados para conservar y mejorar las condiciones fisicoquímicas y biológicas de los suelos. Los abonos orgánicos proceden de la transformación de residuos orgánicos de origen vegetal y/o animal que generan subproductos como lixiviados, los cuales se convierten en un problema de contaminación al no tener en cuenta su captación como líquidos residuales, ya que una parte se filtra deteriorando y contaminando suelos, aguas libres, aguas subterráneas y otra parte queda expuesta en la superficie ocasionando desprendimiento de $CO_2$ hacia la atmósfera, lo cual acelera el efecto invernadero. Este artículo de investigación pretende determinar el manejo actual de residuos orgánicos de fincas dedicadas a la producción agroecológica y caracterizar la composición de estos lixiviados, a diferencia de los residuos líquidos extraídos del compost convencional. Se analizaron en laboratorio muestras de lixiviados de los dos tipos de compost, con el fin de relacionar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados muestran que el lixiviado agroecológico presenta un mayor índice y diversidad de comunidades microbiológicas. Con relación a las características fisicoquímicas hay mayor concentración de nutrientes y metales pesados en el lixiviado convencional, por lo cual se recomienda evaluarlos antes de su aplicación en campo.

**Palabras clave:** compost, lixiviado, residuos, producción agroecológica, microrganismos, manejo fitosanitario.

### Abstract

The organic fertilizers have been worked in different ways since ancient times, some without any kind of control and adequate management, even so they are used to conserve and improve the physicochemical biological conditions of the soil. The organic fertilizers come from the transformation of organic residues from animal and/or plant origin which generate byproducts such as leachate, which become a problem of pollution because its collection as residual liquids is

not taken into account, since one part is filtered leading to deterioration and contamination of the soil, free waters, groundwater and the other part is exposed on the surface causing release of $CO_2$ into the atmosphere, which accelerates the greenhouse effect. This research article aims to determine the current management of organic residues of farms dedicated to the agroecological production and characterize the composition of these leachates, unlike the liquid waste extracted from the conventional compost. Samples of leachate from the two types of compost were analyzed in the laboratory, in order to relate the physicochemical and microbiological parameters. The results showed that the agroecology leachate presented a higher index and diversity of microbiological communities. With regard to the physico-chemical characteristics there was a greater concentration of nutrients and heavy metals in the conventional leachate, this is the reason why it is recommended to evaluate them before their implementation in the field.

**Keywords**: compost, leachate, waste, agroecological production, microorganisms, phytosanitary handling.

## Resumo

Adubos orgânicos desde os tempos antigos têm-se usado de maneiras diferentes, alguns sem qualquer controle e gestão adequadas, ainda assim, são usados para preservar e melhorar as condições físico-químicas e biológicas do solo. Adubos orgânicos vêm de resíduos orgânicos transformados de origem animal y/o vegetal que geram subprodutos como lixiviados, que se tornam um problema de poluição por não ter em conta a sua captura como líquidos residuais, uma porção escoa, causando deterioro e contaminação do solo, as águas livres, águas subterrâneas e outros lugares estão expostas na superfície causando a liberação de CO2 na atmosfera, acelerando o efeito estufa. Este trabalho de pesquisa tem como objetivo determinar atual gestão de resíduos orgânicos provenientes de explorações dedicadas à produção agroecológica e caracterizar a composição desses lixiviados, ao contrário do líquido extraído da compostagem convencional. Foram analisadas em laboratorio amostras de lixiviados a partir dos dois tipos de compostagem, a fim de se relacionar parâmetros microbiológicos e físico-química. Os resultados mostram que o lixiviado agroecologico tem um índice mais alto na diversidade das comunidades microbianas. No que respeita às características físico-químicas, concentrações mais elevadas de nutrientes e de metais pesados, se apresetaram no lixiviado convencional, Por conseguinte, recomenda-se avaliá-los, antes da aplicação no campo.

**Palavras-chave:** compostagem, lixiviado, resíduos, produção ecológica, microorganismos, gestão fitossanitária.

## Introducción

En Colombia, se evidencia un fenómeno de alto consumo de materiales que no se reutilizan y gran parte de los desechos sólidos están constituidos por algo más del 50% de residuos orgánicos, cuyo inadecuado manejo se convierte en un factor altamente contaminante por la elevada segregación de lixiviados sin canalización o recirculación de éstos, afectando la salud del ser humano, el medio ambiente, los suelos y las fuentes hídricas, (BID, OPS/OMS, 1997). De igual manera, se observa que el agricultor en su afán de mejorar las producciones utiliza abonos orgánicos sin conocer su procedencia, lo cual puede agregar un problema a los suelos y trasmitir al consumidor problemas sanitarios. Teniendo en cuenta los efectos que se desprenden del manejo adecuado de residuos orgánicos y la importancia que en los últimos años ha tomado la agricultura agroecológica u orgánica en países

europeos y casos muy puntuales en Colombia, estudios realizados demuestran que los extractos de compost poseen componentes activos de bacterias (*Bacillus*), fermentos (*Sporobolomyces* y *Cryptococcus*) y hongos, además de antagonistas químicos como fenoles y aminoácidos, los cuales tienen efectos positivos sobre el crecimiento y condiciones sanitarias de las plantas. Partiendo de esta información, se establece la diferencia entre un lixiviado convencional, actualmente manejado en la región y el lixiviado agroecológico que sirve de opción y herramienta para la producción orgánica sostenible, resaltando el adecuado manejo de residuos orgánicos con la reutilización de éstos y el aprovechamiento de los subproductos que se originan en este proceso de compostaje, los cuales actualmente no se utilizan y se liberan a la atmósfera ocasionando problemas ambientales (Mendzvcki, 2001 citado en Lombricol, 2012). Al conocer la composición de los lixiviados agroecológicos es posible revisar la dosificación y el efecto en campo al agregar microorganismos eficaces a estos residuos líquidos.

Sin lugar a dudas, la adición de enmiendas orgánicas puede influir positivamente en las propiedades físicas del suelo (Stevenson, 1982; Roldán *et al*., 2003), mejorando su estructura, incrementando la formación y estabilidad de agregados, la capacidad de retención hídrica del suelo. Este hecho disminuye la escorrentía, evita el lavado de nutrientes y mejora el desarrollo vegetal (Bastida *et al*., 2007). Las interacciones que se logran permiten la adecuada relación suelo-planta y ambiente que se verá positivamente influenciada por la actividad microbiana, el mayor contenido de fuentes de energía y nutrientes en el suelo, dando paso al crecimiento, desarrollo de las plantas y el equilibrio a nivel fitosanitario del cultivo.

El propósito del avance de esta investigación es presentar los resultados de la caracterización del lixiviado procedente del manejo de un compost agroecológico usado como acondicionador de suelo en el cultivo de lechuga, identificando la respuesta fitosanitaria y productiva del cultivo al lixiviado y analizar el manejo adecuado e inocuo de los residuos orgánicos.

## Materiales y métodos

El proceso de compostaje y la obtención del lixiviado agroecológico se realizó en el municipio de Anolaima, Cundinamarca, Colombia, ubicado a 4° 45¨40” Latitud Norte y 74° 27¨54” Longitud W. Greenwich, altitud de 1.657 msnm, temperatura promedio anual de 19 °C, con variaciones de 12 °C a 24 °C, dependiendo de las diferentes áreas agrológicas que se encuentran en el municipio. La precipitación promedio anual es 1500 mm y la humedad relativa en invierno es del 80% y en verano del 70%. (Fuente: EOT Anolaima 2002).

Se realizó el montaje de la estructura de la compostera (Figura 1) para determinar el manejo adecuado de los residuos orgánicos, utilizando los siguiente materiales: 8 estibas de madera de 1m por 1,10 m, madera semicepillada, plástico negro y amarillo de 1,20 m de largo por 1,10 m de ancho, alambre número 10, 3 m; recipiente plástico capacidad 4 l, guadua de 1,20 m de largo y diámetro de 18cm, 6 estacas de madera de 0,70 m de largo. Se realiza la infraestructura tanto del techo como de la compostera y se depositan los diferentes materiales a compostar (Tabla 1).

***Tabla 1.*** *Materiales utilizados en el compostaje*

| Material orgánico | Cantidad |
|---|---|
| Tierra del lote (cultivo de café) | |
| Residuos de cultivo de hortalizas | |
| Roca fosfórica (espolvoreo 200 g) | |
| Pasto elefante | |
| Cubetas de huevo | |
| Equinaza | |
| Tierra del lote (cultivo de café) | Se disponen capas entre 15 y 20 cm de cada material, previamente fraccionado, para acelerar el proceso de transformación. Se trabaja con un volumen de $1m^3$ |
| Microorganismos eficaces + Melaza | |
| Residuos de cultivo de Plátano (vástago y hojas) | |
| Roca fosfórica | |
| Cubetas de huevo | |
| Bore | |
| Bovinaza (espolvoreo 200 g) | |
| Tierra del lote (cultivo de café) | |
| Microorganismos eficaces + Melaza | |
| Cubetas de huevo | |

Inicialmente se utilizaron 2 l de E.M y 1 kg de melaza en 20 l de agua y 200 g de roca fosfórica dispuestas en las capas correspondientes, los volteos se realizaron cada 15 días incorporando los lixiviados que se obtenían semanalmente por 25 días y con adiciones de agua y E.M. según requerimiento de humedad, registro tomado en campo semanalmente, así mismo la temperatura se midió observándose el valor más alto de 70ºC y mínimo de 15ºC.

**Figura 1.** Ubicación de la compostera agroecológica

Se tomó la muestra del lixiviado agroecológico hacia los 32 días de iniciado el proceso de compostaje, observando las características organolépticas del residuo líquido de color oscuro (café) e inodoro. Estas muestras fueron enviadas a 4 laboratorios para el respectivo análisis específico, como se detalla en la Tabla 2.

***Tabla 2.*** *Laboratorios y tipo de análisis utilizados en los lixiviados agroecológico y convencional*

| Laboratorio | Tipo de análisis |
|---|---|
| Laboratorio ANGEL BIOINDUSTRIAL | Análisis Microbiológico |
| Laboratorio FUNDASES | Recuentro microbiológico completo de lixiviados |
| Laboratorio AGRILAB | Caracterización y composición de material orgánico liquido |
| Laboratorio IGAC | Análisis metales pesados Cr, Pb y Cd |

Para la caracterización de los lixiviados convencional y agroecológico se tuvieron en cuenta los parámetros obtenidos de los análisis microbiológicos, químicos y de metales pesados. Dentro de los microbiológicos se analizaron especialmente salmonella y coliformes fecales, *Pseudomona Aeruginosa*, *Actinomicetos*, fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fosforo, *Penicillium* sp*, Aspergillus* sp*, Rhizopus* sp, En el análisis químico se contrasta la información de carbono orgánico oxidable total, conductividad eléctrica, NOrg, P2O5, K2O, CaO, MgO, S-SO4, hierro soluble, manganeso soluble, cobre soluble, zinc soluble, boro soluble, sodio soluble; en metales pesados se midieron plomo, cromo y cadmio. A partir de estos resultados se desarrollaron graficas descriptivas comparando los niveles de microrganismos y niveles de elementos químicos encontrados en cada uno de los dos tipos de lixiviado.

## Resultados

***Estructura física para el manejo de residuos sólidos y captación de lixiviados***

Al observar las diferentes técnicas que utilizan los productores de compost y los agricultores que manejan el aprovechamiento de los residuos sólidos para abonos orgánicos, se determinó una estructura de fácil acceso económico, consecución y manejo del proceso, pero que a la vez proporcionara las condiciones de temperatura y humedad adecuadas para el proceso de compostaje: en cuanto a la canalización y conducción de los lixiviados se elaboró una canal en el suelo a 5 cm de la compuerta y con un desnivel contra la pendiente, se colocó una guadua revestida de plástico, por medio de la cual se conducen los lixiviados hacia un recipiente insertado en el suelo, esto con el fin de almacenar los líquidos que serán utilizados para recircular en el mismo sistema, minimizando el impacto ambiental.

La estructura de la compostera maneja un volumen de 1 $m^3$, lo cual permite que la temperatura se concentre y alcance los 65°C, de igual manera por la ubicación de los listones de las estibas hay una regulación adecuada de la aireación. El manejo de los residuos se facilita por la disposición de los materiales y los volteos constantes requeridos, es una estructura propicia para el manejo inocuo de los residuos y estéticamente visibiliza el orden y el manejo responsable de los residuos orgánicos.

Con la estructura se facilita la conducción y recolección de los lixiviados recirculados en el proceso de compostaje, permitiendo la obtención de un líquido concentrado con características propicias para el manejo agronómico, estos lixiviados se aprovechan por 23 días y alrededor de los 30 días se toman 4 muestras para el análisis en laboratorio de acuerdo a lo definido en la Tabla 2.

***Caracterización y composición química del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional***

Al relacionar los parámetros químicos del lixiviado agroecológico con el convencional se observan los índices más altos en el lixiviado convencional en contraposición con el agroecológico que presenta menor contribución como se evidencia en la Tabla 3.

***Tabla 3.*** *Análisis químico de lixiviados agroecológico y convencional*

| Parámetro | Lixiviado Agroecológico | Lixiviado Convencional | Unidades |
|---|---|---|---|
| Carbono Orgánico oxidable | 2,66 | 8,99 | g L-1 |
| pH | 7,67 | 7,71 | |
| Conductividad eléctrica | 0,04 | 0,17 | dS m-1 |
| Nitrógeno orgánico (NOrg) | 0,53 | 1,93 | g L-1 |
| Fósforo soluble (P2O5) | 0,17 | 0,27 | g L-1 |
| Potasio soluble (K2O) | 3,29 | 33,7 | g L-1 |
| Calcio soluble (CaO) | 0,42 | 0,62 | g L-1 |
| Magnesio soluble (MgO) | 0,22 | 0,47 | g L-1 |
| Azufre soluble (S-SO4) | 0,02 | 0,17 | g L-1 |
| Hierro soluble | 0,06 | 0,14 | g L-1 |
| Manganeso soluble | 0,9 | 4,8 | p.p.m |
| Cobre soluble | 3,8 | 0,9 | p.p.m |
| Zinc soluble | 1,9 | 2,8 | p.p.m |
| Boro soluble | 1,1 | 2,7 | p.p.m |
| Sodio Soluble | 0,16 | 0,243 | g L-1 |

Para analizar el comportamiento de los parámetros químicos se presentan las Figuras 2, 3 y 4, las cuales permiten realizar una comparación de los niveles de cada parámetro medido. La Figura 2 muestra los niveles de la conductividad eléctrica para cada tipo de lixiviado, observándose que el lixiviado convencional presenta valores muy superiores a los que reporta el lixiviado agroecológico; analizando los niveles de del lixiviado convencional, si se parte de la situación práctica de una eventual dilución, y sabiendo que un valor de 0,17 dS $m^{-1}$ no representa un problema, su dilución y aplicación con cierta precaución no representa un potencial salinizador del suelo al cual se aplica, pero aplicaciones frecuentes pueden llevar a una considerable adición de sales al suelo, lo cual generará problemas en la disponibilidad de agua para las plantas, debido al efecto de retención de agua por los complejos salinos que se agregan al suelo, con la aplicación de lixiviados.

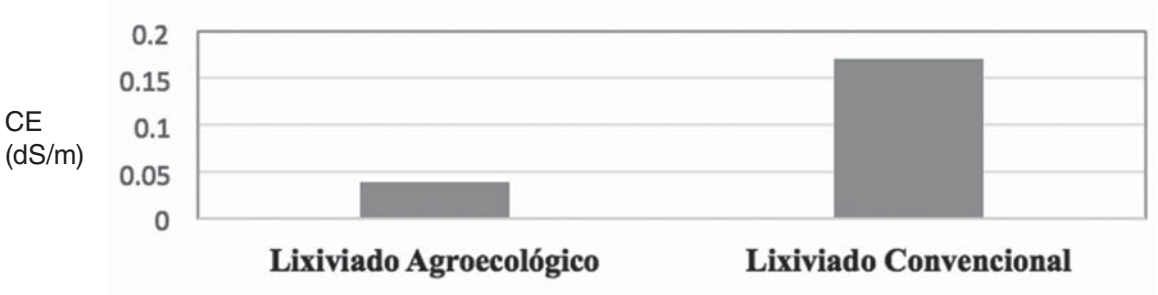


**Figura 2.** Conductividad eléctrica en los lixiviados agroecológico y convencional.

En el caso de los macroelementos, es marcada la diferencia del contenido de potasio en el lixiviado convencional que supera por amplio margen a los contenidos en el lixiviado agroecológico. Así mismo comparando los restantes macroelementos: fósforo, calcio, magnesio, azufre y el hierro, expresados en unidades de g $L^{-1}$, puede observarse que el lixiviado convencional supera el contenido de los niveles de estos elementos en el lixiviado agroecológico como se observa en la Figura 3.

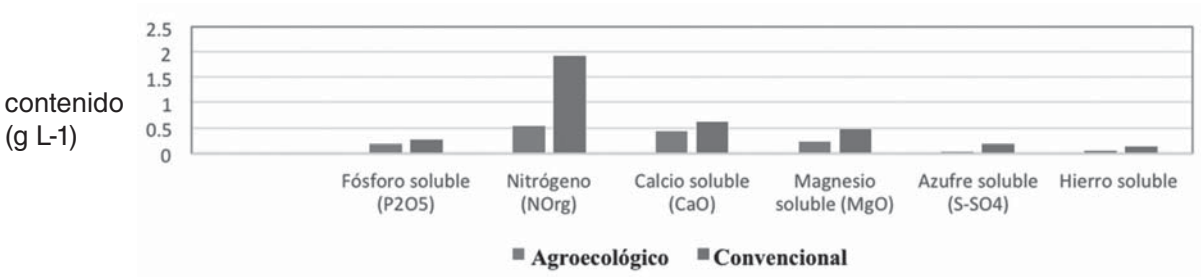


**Figura 3.** Contenido de macroelementos en los lixiviados agroecológico y convencional.

En el caso de los contenidos de microelementos (Figura 4) se evidencia que hay una marcada diferencia en los contenidos de cobre, donde el lixiviado agroecológico supera por amplio margen al lixiviado convencional, contrario a esta situación los contenidos de manganeso, zinc y boro del lixiviado convencional superan a los valores de estos elementos en el lixiviado agroecológico.

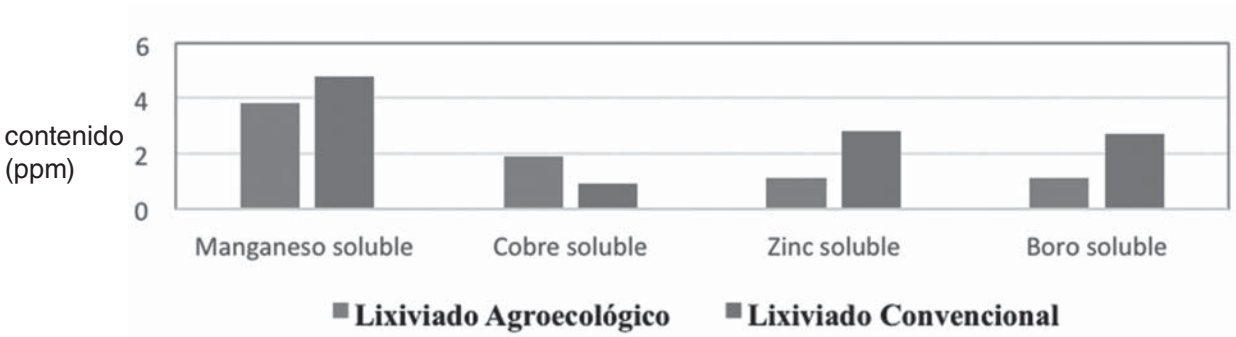


**Figura 4.** Contenido de microelementos en los lixiviados agroecológico y convencional.

***Caracterización de metales pesados del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional***

Al relacionar las concentraciones de metales pesados del lixiviado agroecológico y el convencional se observa que el lixiviado convencional presenta mayor concentración en cromo, plomo y cadmio, como se relaciona en la Tabla 4. Al analizar uno a uno el comportamiento de los contenidos de metales pesados de los lixiviados se establece que el cromo y el plomo presentan mayor concentración en el lixiviado convencional, de igual manera en el lixiviado agroecológico el cromo presenta un índice alto, como lo muestra la Figura 5.

***Tabla 4.*** *Contenido de metales pesados de los lixiviados agroecológico y convencional*

| Parámetros | Lixiviado Agroecológico | Lixiviado Convencional | Unidades |
|---|---|---|---|
| Cromo | 2,4 | 13,8 | mg kg-1 |
| Plomo | 1 | 15 | mg kg-1 |
| Cadmio | 0,26 | 0,47 | mg kg-1 |

Estos datos se deben tener en cuenta si se utilizan estos residuos líquidos frecuentemente en aplicaciones al suelo y al cultivo, puesto que por acumulación residual puede convertirse en una problemática ambiental y sanitaria para los seres humanos.

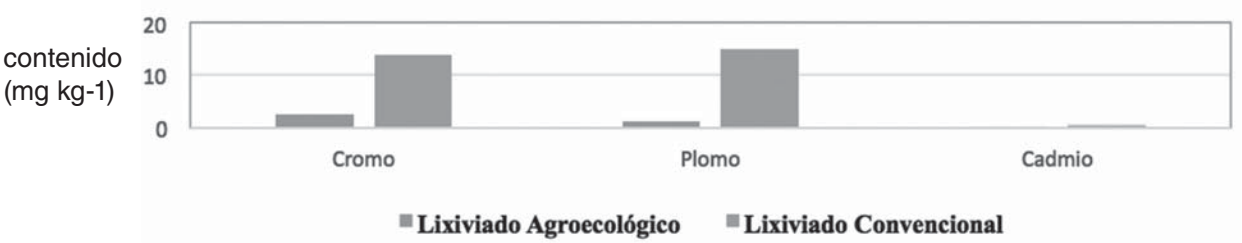


**Figura 5.** Contenido de metales pesados en los lixiviados agroecológico y convencional

***Caracterización microbiológica del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional***

Al relacionar la densidad poblacional de bacterias, microorganismos solubilizadores de Fosforo, fijadores de Nitrógeno y los hongos *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp en el líquido agroecológico y el convencional, se observa que se presenta mayor densidad de éstos en el lixiviado agroecológico, adicionalmente en este líquido se presenta *Rhizopus* sp., importante para el proceso de reciclaje de materia orgánica. En cuanto a los microrganismos patógenos se evaluaron *Salmonella*, Coliformes Fecales y *Pseudomona aeruginosa*, encontrando que en los dos lixiviados no hay presencia de salmonella, en tanto que en el lixiviado convencional no hay presencia de *Pseudomona aeruginosa*, pero si hay niveles de Coliformes Fecales y en el lixiviado agroecológico no hay presencia de *Pseudomona aeruginosa* ni de Coliformes fecales, datos que se deben tener en cuenta para la utilización en campo de estos líquidos residuales. En la Tabla 5 se presenta la relación microbial de los dos lixiviados.

***Tabla 5.*** *Composición microbiológica de los lixiviados agroecológico y convencional*

| Parámetros | Lixiviado Agroecológico | Lixiviado Convencional | Unidades |
|---|---|---|---|
| Solubilizadores de Fosforo | 21x 10 5 | 21x 10 4 | UFC g-1 |
| Fijadores de Nitrógeno | 31x 10 4 | 61x 10 3 | UFC g-1 |
| Penicillium sp | 72x 10 2 | 50x 10 2 | UFC g-1 |
| Aspergillus sp | 10x 10 1 | 40x 10 2 | UFC g-1 |
| Rhizopus sp | 10x 10 2 | ND. | UFC g-1 |
| Salmonella | AUSENCIA | AUSENCIA | A / P |
| Coliformes fecales | | 2000 | UFC g-1 |
| Pseudomona Aeruginosa | AUSENCIA | AUSENCIA | A / P |

## Discusión

Respecto a la estructura física para el manejo de residuos sólidos y captación de lixiviados se debe resaltar que el compost debe contar con un manejo apropiado de humedad y oxígeno para mantener la actividad microbiana (Bonilla & Mosquera, 2007). En la presente investigación se evidencia que la disposición del material de origen vegetal y animal a compostar es fundamental para alcanzar los niveles óptimos y máximos de temperatura y humedad, así como la oxigenación de los residuos y la inocuidad del material; si se garantiza una estructura que permita concentrar estos factores se logra obtener compost en la octava semana con recirculación de lixiviados y obtención de un líquido concentrado, hacia la semana 5 disminuye en un 80% la lixiviación, y hacia las semanas 6 y 7, la compostera deja de producir líquidos residuales, los cuales han sido previamente canalizados y reutilizados en el mantenimiento de la misma.

***Tabla 6.*** *Características de la compostera en pila*

| Efecto apreciado compostera en pila |
|---|
| La temperatura de la pila no supera los 45°C |
| La pila está muy humedad o muy seca, no hay distribución de la humedad |
| No hay oxigenación por tanto comienza a oler fuerte |
| Permite albergar plagas |
| No es inocuo y su manejo es deficiente |

Fuente: (Adaptado de Kiely, 1999)

En cuanto a la caracterización y composición química del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar que el lixiviado convencional presenta niveles más altos en los parámetros químicos analizados, con respecto al lixiviado agroecológico, se estima que, posiblemente, es por las múltiples aplicaciones de residuos vegetales del compost convencional, ya que su procedencia es de cultivos de rosas donde los elementos más utilizados para su desarrollo y

crecimiento vegetal son el potasio y el calcio, entre otros. Healy & Wilkins (1985), manifiestan que por el alto requerimiento de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (NPK-Ca) en el cultivo de arlstroemeria, rosa y otras especies, los suelos quedan empobrecidos, es por esto que se realiza constante aplicación de fertilizantes químicos, con el consiguiente incremento de los costos de producción y serios problemas de impacto ambiental. Esta concentración puede ser favorable para las plantas, pero por lo general los lixiviados no son utilizados de manera adecuada, lo cual puede constituirse en determinado momento en un problema ambiental si estos líquidos llegan a fuentes hídricas o saturan los suelos y finalmente por filtración llegan a las aguas subterráneas y/o cuerpos de aguas.

La conductividad eléctrica (CE) en los niveles encontrados en los dos lixiviados no representa en el momento una limitante, sin embargo, si se consideran aplicaciones frecuentes de estos residuos puede convertirse en un problema para los suelos, por la concentración de sales ya que a medida que el suelo está seco la CE del suelo aumenta. Es de anotar que para el fin investigativo futuro estos lixiviados se utilizarán en dilución según los datos que se recojan de la evaluación en campo, por tanto si estos lixiviados no son conducidos para su posterior reutilización llegarían al suelo de manera directa y en mayor concentración, dando paso así al desequilibrio planta-suelo. Cualquier elemento puede convertirse en tóxico para la planta si su concentración en la solución del suelo es alta, o si se encuentra en desequilibrio con otros elementos (Gat fertiliquidos, 2006).

Respecto a la caracterización de metales pesados del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar cómo la acumulación de metales pesados es una de las más alarmantes consecuencias que trae el no conducir, tratar y aprovechar los lixiviados correctamente, de ahí la importancia de conocer la procedencia y las características físico químicas y microbiológicas que tienen estos residuos líquidos. Los componentes de los lixiviados pueden ser movilizados hacia el suelo, estar en posición de ser absorbidos por las plantas o perfusionar hacia los mantos acuíferos y afectar los suministros de agua potable (Álvarez, Mochon, Sánchez & Rodríguez*,* 2002). Los metales pesados pueden ingresar a las redes tróficas y ocasionar, en primera instancia, bioacumulación y una posterior biomagnifcación a través de los niveles tróficos superiores (González, Tornero, Cruz & Bonilla. 2009). En esta investigación se evidencia que la mayor concentración de metales pesados se presenta en el lixiviado convencional en los tres elementos evaluados: cromo 13,8 mg $kg^{-1}$, plomo 15 mg $kg^{-1}$ y cadmio 0,47 mg $kg^{-1}$; posiblemente estos niveles son altos por el programa de mirfe y mipe que manejan los cultivos de flores, origen del material, lo cual ocasiona un problema ambiental en la región ya que estos lixiviados no son canalizados y tratados de forma adecuada. Teniendo en cuenta lo anterior se observa que los niveles de metales pesados en el lixiviado agroecológico están presentes en una baja concentración, pero persisten y esto puede deberse a los tipos de materia orgánica presentes en el proceso de compostaje y los cuales tienen influencia en la toxicidad de los metales pesados.

Los lixiviados contienen concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, sustancias orgánicas, nutrientes y metales pesados así como sales inorgánicas que elevan la conductividad eléctrica y generan agentes infecciosos (Wiszniowski *et al.,* 2006). En la investigación “Determinación de metales pesados en residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación” de María del Consuelo Hernández Berriel (2012), se menciona que la recirculación de los líquidos residuales en la compostera es clave para la disminución del contenido de metales pesados tanto en el producto sólido como en el líquido del compost, se apoyan en lo mencionado por Kabata-Pendias & Pendias, 1984, Cala & Rodríguez, 1989, que el alto contenido de materia orgánica (MO) puede favorecer la reducción del plomo y también su movilidad, atribuida a la lixiviación del metal como un

complejo quelatado soluble con la MO, así mismo otros elementos presentan estas características al recircular los lixiviados en el compost proporcionando una humedad constante.

Conociendo la problemática ambiental, sanitaria y fitosanitaria del manejo de residuos orgánicos se observa que la información existente para fertilizantes líquidos de origen del proceso de compostaje es muy básica y sólo se aplica a productos de mezcla con residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente). La Norma Técnica Colombiana 5167 (primera actualización de mayo 31 de 2004) establece los requisitos específicos de calidad para productos utilizados como fertilizantes o abonos orgánicos-minerales líquidos, los límites máximos de metales pesados no aplican para uso y se basan en la concentración permisible de Cadmio (Cd) 39, Cromo (Cr) 1200, 420 Plomo (Pb) 300 Se indicará la materia prima de la cual procede el producto. Con base en ello es necesario remitirse al Decreto 1594 de 1984 que tiene en cuenta el uso del agua con los criterios admisibles en la destinación del recurso para uso agrícola expresado como Valor Cadmio Cd 0.01 Cromo Cr + 6 0.1 y Plomo Pb 5.0, retomando estos valores, se observa que los limites admisibles de mayor concentración se encuentran en el lixiviado agroecológico.

Respecto a la caracterización microbiológica del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar que la Norma Técnica Colombiana 5167, no es específica frente a la caracterización microbiológica de los abonos líquidos, solamente tiene en cuenta los niveles máximos de patógenos. Los fertilizantes y acondicionadores orgánicos de origen no pedogenético deberán demostrar que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos: (1) Salmonella sp.: ausentes en 25 g de producto final; (2) Enterobacterias totales: Menos de 1000 UFC $g^{-1}$ de producto final. Con respecto al Decreto 1594 de 1984, sobre uso del agua y límites admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola, solamente el NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutales que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto; así mismo el NMP de coliformes fecales no deberá exceder 1.000, retomando la norma y el decreto se observa que el lixiviado convencional presenta un exceso de coliformes fecales y coliformes totales. Se podría atribuir este fenómeno a las aguas de riego que se utilizan en el cultivo del cual proviene el material vegetal, puesto que está ubicado cerca a los límites del rio Bogotá (municipio de Facatativá) y las aguas provienen de pozo profundo.

Se presenta en el lixiviado agroecológico *Pseudomona aeruginosa* evaluada a nivel cualitativo con el método de INVIMA, en los límites admisibles para la utilización de lixiviados o aguas para uso de riego no menciona este patógeno, pero revisando la recopilación normas microbiológicas y parámetros físico-químicos relacionados de Bilbao se encuentra que los limites o la restricción de éstos se halla direccionada para aguas envasadas: minerales naturales, de manantial y preparadas en el interior de los envases y aguas de consumo público envasadas en el interior de los envases (De Pablo & Moragas, 2008, p. 5).

En cuanto a los microrganismos solubilizadores de fosforo y fijadores de nitrógeno se observa que los niveles más altos se encuentran en el lixiviado agroecológico con 21x 10 5 y 31x 10 4 con respecto al convencional que se caracterizó por tener un valor menor. Fernández & Rodríguez (2006) mencionan que la presencia de estas bacterias en el suelo aumentan la cantidad de diferentes iones, uno de éstos es el fósforo que al ser hidrolizado con enzimas como las fitasas, facilitan la movilidad de este elemento en el suelo y lo transforman en un compuesto accesible para la planta.

Makarewicz *et al.* (2006) realizaron una investigación dirigida a la fitasa, en el cual encontraron que varias cepas de *Bacillus* spp secretaban dicha sustancia; una enzima que cataliza la desfosforilación de myoinositol (fitato), siendo esta la forma

de almacenamiento del fosfato en las plantas, además se evidenció que dicha enzima tiene capacidad para hacer de este fitato, fósforo disponible permitiendo que esta actividad sea llevada a cabo por las bacterias que se encuentran en la rizósfera tales como; *Pseudomonas, Klebsiella y Bacillus* spp. Con base en estas y en las investigaciones existentes de microorganismos que crecen en estos medios se puede afirmar que son parte fundamental e indispensable en la interacción química, física y biológica del suelo, los microrganismos intervienen en el proceso de transformación de fosforo y asimilación del nitrógeno permitiendo su disponibilidad en el suelo y por ende en las plantas, estos se constituyen en una alternativa para reducir la contaminación ambiental y mejorar la nutrición y crecimiento de plantas lo cual redundara en la productividad de los cultivos. En cuanto a *Penicillum* sp, *Aspergillus* sp y *Rhizopus* sp indican que hay presencia de microrganismos que pueden beneficiar el desarrollo del cultivo, por tanto Blandón menciona que la identificación de la microflora presente en el compostaje, permite realizar el estudio de las funciones específicas de cada grupo de microorganismos y determinar su acción potencial en el área de la nutrición vegetal, cuando el producto es agregado al suelo (Blandón *et al., 1998).* En el caso de Rhizopus desempeña un papel importante en el reciclaje de materia orgánica y la transformación de ésta, *Aspergillus* y *Penicillium* permiten la transformación, asimilación y disponibilidad de nitrógeno, fósforo, Estos microorganismos descomponen minerales de aluminosilicatos y liberan parte del potasio contenido en ellos, de igual manera intervienen en la degradación de aminoácidos hasta obtener sulfatos.

## Conclusiones

La disposición de los residuos orgánicos y el manejo adecuado de estos permitió evidenciar en la presente investigación que se alcanzan los niveles óptimos de temperatura y humedad para acelerar el proceso de transformación de la materia y la obtención de un producto inocuo para futuras aplicaciones agrícolas.

La utilización de material vegetal de cultivos agroecológicos en el compostaje, asegura que los niveles de metales pesados en el lixiviado sean más bajos que los de procedencia convencional.

El material vegetal de origen agroecológico permite que la comunidad microbiana sea más alta logrando aprovechar así las interacciones de elementos mayores y menores y el potencial de los microorganismos para transformar movilizar y permitir la disponibilidad de estos a la planta.

La recirculación de los lixiviados es clave para la disminución de las concentraciones de metales pesados en los productos finales del compostaje.

La canalización y aprovechamiento de los lixiviados del proceso de compostaje permite minimizar el impacto ambiental tanto a nivel atmosférico, suelos y fuentes hídricas.

Conocer la caracterización de los lixiviados proporciona al agricultor una herramienta para potencializar, mejorar la productividad de los cultivos y disminuir los problemas fitosanitarios, evitando la contaminación de los suelos y/o espejos de agua.

## Literatura citada


1. Álvarez, E., Mochon, M., Sánchez, J. & Rodríguez, M. (2002). Heavy metals extractable form in sludge from wastewater treatment plants. *Chemosphere 47*, 765-775.
2. Bastida, F., Moreno, J.L., Hernández, T. & García, C. Garcia (2007). Microbial activity in non-agricultural degraded soil exposed to semiarid climate. *Sci.Total Environ.* 378: 183-186
3. BID, POS/OMS (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de los Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe.
4. Bonilla, M. & Mosquera, M. (2007). Seguimiento de la presencia de rotavirus en un proceso de compostaje realizado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y contenido ruminal. (tesis de pregrado) Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana.
5. Blandón Castaño, G., Rodríguz Valencia, N. & Dávila Arias, M. T. (1998). Caracterización Microbiológica y Físico-Química de los Subproductos del Beneficio del Café en Proceso de Compostaje. *Cenicafé*

6. Cala, V. & Rodríguez, J. (1989). —Estudio de la contaminación por metales pesados en suelos de la Vega de Aranjuez. I y II. *Anal. Edaf. Agrobiol*. Vol. 49(9-10). 1989. pp.189-193.
7. Decreto 1594 de 1984. Recuperado de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617
8. De Pablo, M.B. & Moragas, M. (2008), Recopilación normas microbiológicas y parámetros físico-químicos relacionados. Bilbao.
9. EOT Anolaima (2002). Plan integral único municipio de Anolaima. periodo 2008-2011.
10. Fernández, M.T. & Rodríguez, H. (2006). Aplicaciones biológicas de las fitasas: papel en los fertilizantes microbianos. ICIDCA [En línea] Recuperado de: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664004
11. García, I. C. (2011). Fertilización orgánica con compost y té de compost: su aplicación al suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA.21 de Octubre de 2011. Proyecto BIOMUSA. 1. Recuperado de: http://ecopalmer.es/resources/Fertilizacion+org$C3$A1nica+con+composts+y+t$C3$A9+de+compost..pdf.
12. Gat fertiliquidos. (2015). Recuperado de: http://www.gatfertiliquidos.com/salinidad_cultivos.pdf
13. González, E., Tornero, A., Cruz, A. & Bonilla, N. (2009). Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. *Rev. Int. Contam. Ambie. 25*, 15-22.
14. Healy, W.E. & Wilkins, H.F. (1985). Arlstromería culture. *Minnesota State Florists Bulletin, Vol. 33,* No. 3.
15. Hernández B. M. (2012). Determinación de metales pesados en residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación.
16. Instituto Colombiano de Norma Técnicas y certificación. (2004) Norma Técnica Colombiana – NTC 5167, Bogotá, ICONTEC.
17. Kabata-Pendias A. & Pendias H. (1984). Trace elements in soils and plants. CRC Press., Florida, 150 pp.
18. KIELY, Gerard, 1999. Ingeniería Ambiental: Fundamentos en tornos, tecnologías y sistemas de gestión: Mc Graw Hill, Vol. II: 1ra Edición: Madrid – España
19. Lombricol.com (2012). Recuperado de: http://lombricol.blogspot.com.co/2009/09/foliar-fertilizante-liquido-de-lombriz.html
20. Makarewicz, O., Dubrac S. *et al*. (2006). Dual Role of the PhoP-P Response Regulator: Bacillus amyloliquefaciens FZB45 Phytase Gene Transcription Is Directed by Positive and Negative Interactions with the phyC Promoter, [En línea] Recuperado de: http://jb.asm.org/content/188/19/6953.abstract
21. Roldan, A., f. Caravaca, T. Hernandez, C. Garcia, A. Sanchez-Brito, C Velazquez & M.Tiscareño (2003). No-Tillage, Crop Residue Additions, and Legume Cover Cropping Effects on Soil Quality Characteristics Under Maize in Patzcuaro Watershed (Mexico). *Soil Tillage Res*. 1786: 1-9.
22. Wiszniowski J., Robert D., Gorska J., Miksch K. & Weber J. —Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett*. 2006.


## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 22 de abril de 2015
Aceptado: 26 de mayo de 2015

# Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia

## Nutrient Removal using natural and chemical coagulants in waste water treatment plant, Valledupar Colombia

## *Remoção de nutrientes por coagulantes naturais e químicas em águas residuais estação de tratamento, Valledupar Colômbia*

**Damileth Dearmas Duarte[1] & Luis Francisco Ramírez Hernández[2]**

[1]Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Magister en Ciencias ambientales, Estudiante de Doctorado en Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Buenos Aires. Argentina.
[2]Ingeniero Civil, Especialista y Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

[1]Programa de Doctorado en Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Buenos Aires. Argentina. [2]Departamento Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad del Cesar. Valledupar. Colombia

[1]ingeambientedamileth@hotmail.com, [2]luisfranciscoramirez@unicesar.edu.co

**Resumen**

Se evaluó desempeño y eficiencia de dos coagulantes químicos: sulfato de aluminio y policloruro de aluminio (PAC), y dos naturales: moringa (*Moringa oleífera)* y cardón guajiro (*Lemaireoreus griseus*) en la remoción de nutrientes y sedimentos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales conformado por lagunas de estabilización El Salguero ubicada en el municipio de Valledupar, Cesar, Colombia. Los ensayos se llevaron a cabo con muestras de agua procedentes del río Cesar recogidas en el efluente del sistema de tratamiento. La turbidez varía desde 25 NTU hasta 67 NTU durante la época de desarrollo de la investigación. Se obtuvo que el sulfato de aluminio pese a no alcanzar la turbidez exigida por la normatividad colombiana (Decreto 3930/2010, Articulo N°72 Turbidez ≥ 5 NTU) es un coagulante que remueve más del 80% de los parámetros de DQO, DBO y algas. El policloruro de aluminio es adecuado para disminuir significativamente la turbidez y los SST en un 92%, además presentó la mejor viabilidad económica de los tratamientos; y para la disminución de fosforo total resultaron efectivos los tratamientos con coagulantes naturales moringa y cardón, los cuales presentaron una remoción de 90.35%. Se concluye que los coagulantes evaluados presentan un potencial de remoción de los parámetros analizados, los resultados avalan a la *Moringa oleífera* como una posible alternativa natural en la potabilización de las aguas, ya que garantiza no sólo lograr con éxito el proceso de coagulación, sino también, la ausencia de residuos.

**Palabras clave**: agua residual, efluente, nutrientes, eutrofización, prueba de jarras.

## Abstract

Performance and efficiency of two chemical coagulants aluminum sulfate and aluminum polychloride (PAC), and two natural: moringa (*Moringa oleífera*) and cardon guajiro (*Lemaireoreus griseus*) in the removal of nutrients and sediments of the effluent from the waste water treatment plant were assessed; the effluent consisted of stabilization ponds in the Salguero located in the municipality of Valledupar, Cesar, Colombia. The tests were carried out with water samples from the Cesar River collected in the effluent of the treatment system. The turbidity varied from 25 NTU to 67 NTU during the time of development of the research. The results showed the aluminum sulfate despite not achieving the turbidity required by Colombian Law (Decree 3930/2010, Article N°72 Turbidity ≥ 5 NTU) is a coagulant that removed more than 80% of COD, BOD and algae. The aluminum polychloride was appropriate to significantly reduce turbidity and OSH in a 92%, it also presented the best economic viability in comparison to the other treatments; In regard to the decrease of total phosphorus moringa and cardon natural coagulants showed effective results, leading to a removal level of 90.35%. It was concluded that the coagulants assessed showed a removal potential of the analyzed parameters, the results supported the *Moringa oleífera* as a possible natural alternative in the purification of water, because it guaranteed not only the success of the clotting process, but also the absence of residues.


**Key-words**: residual water, effluent, nutrients, eutrophication, test of jars.


## Resumo

Avaliou-se o desenvolvimento de dois coagulantes químicos: sulfato de alumínio e policloreto de alumínio (PAC), e dois naturais: moringa (Moringa oleifera) e cardón guajiro (Lemaireoreusgriseus) na remoção de nutrientes e sedimentos dos efluentes da planta de tratamento das aguas residuis constituida por lagoas de estabilização. Salguero localizado no município de Valledupar, Cesar, Colômbia. Os testes foram realizados em amostras de água do rio César contido no sistema de tratamento de efluentes. Turbidez variou de 25 NTU a 67 NTU Durante o tempo de desenvolvimento da pesquisa verificou-se que o sulfato de alumínio, apesar de não atingir a turbidez exigido pela lei colombiana (Decreto 3930/2010, Artigo N ° 72 Turbidez ≥ 5 NTU) é um coagulante que remove mais de 80% dos parâmetros COD, BOD e algas. alumíniopolivinil é adequado para reduzir significativamente a turbidez e TSS em 92%, também apresentou a melhor viabilidade econômica dos tratamentos; e para a redução do fósforo total resultaram efetivos os tratamentos com coagulantes naturais Moringa e Cardón, os quais apresentaram uma remoção 90,35%. Concluiu-se que os coagulantes avaliados apresentam potencial de remoção dos parâmetros analisados, os resultados apoiam a Moringa oleifera como uma possível alternativa natural na purificação de água, uma vez que garante não só alcançar com sucesso o processo de coagulação, mas também, a ausência de resíduos.


**Palavras-chave:** águas residuais, efluentes, nutrientes, eutrofização, prova de jarras.

## Introducción

Los efluentes de los sistemas de tratamientos de aguas residuales, presentan concentraciones de nutrientes tales como fosforo y nitrógeno, componentes causantes de la eutrofización en las corrientes de agua. Como sistemas de pos-tratamientos de nutrientes encontramos la coagulación que es un proceso común en el tratamiento de aguas aplicado para la desestabilización de impurezas coloidales y disueltas, produciendo agregados de flóculos grandes que pueden ser removidos por subsiguientes procesos de filtración/clarificación (Gao, Hahn, H. & Hoffmann, 2002). Este proceso se lleva a cabo agregando coagulantes, los cuales pueden ser clasificados como inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y naturales (Okuda *et al*., 2001).

Las sales de aluminio son los coagulantes más ampliamente utilizados en el tratamiento del agua, el cual ha demostrado ser un buen coagulante en lo que a remoción de turbidez y color se refiere (CEPIS 1983). Sin embargo, el uso de las sales de aluminio debe ser controlado ya que podrían dejar en el agua tratada cierta cantidad de aluminio residual (Romero, 1998). El aluminio residual presente en las aguas puede ser peligroso para la salud ya que está relacionado con el mal de Alzheimer (Stauber *et al*., 1999), producción de grandes volúmenes de lodo, reacción con la alcalinidad natural presentes en el agua y la baja eficiencia en la coagulación de aguas frías. Desventajas similares se han reportado para las sales de hierro y los polímeros sintéticos (Ndabigengesere, Narasiah & Talbot, 1995).

En función de lo señalado, se hace necesario evaluar coagulantes y floculantes más efectivos, menos perjudiciales y ambientalmente inocuos para remover la turbidez de las aguas, con la finalidad de sustituir total o parcialmente las sales de hierro y aluminio y los polímeros orgánicos sintéticos. En este sentido los coagulantes naturales constituyen una alternativa viable porque son usualmente más seguros para la salud.

Recientemente, en Colombia se han desarrollado investigaciones con coagulantes naturales entre ellos el cardón guajiro (*L. griseus*), obteniendo resultados satisfactorios en el proceso de coagulación (Fonseca & Vásquez, 1984). En países como Venezuela se ha estudiado el exudado gomoso producido por *Samanea Saman* (González *et al*., 2006), la corteza del cactus lefaría (Martínez *et al*., 2003) y las semillas, sin grasa, de *M. oleífera* (Mendoza, Fernández, Ettiene & Díaz, 2000), los cuales han demostrado ser eficientes en tratamientos de agua.

La *M. oleífera* es una planta tropical perteneciente la familia *Moringaceae*. Es originaria del noroeste de la India, y es conocida en Brasil como quiabo de quina y Lirio testigo (López & Silva, 2004). El coagulante es declaradamente activo, seguro y barato (Castro & Silva, 2004; Ghebremichael *et al*., 2005, Ndabigengesere *et al*., 1995), siendo posible su amplia utilización en el tratamiento del agua, lo que trae beneficios económicos para los países productores, además de constituirse en una alternativa ambientalmente correcta. (Caldera *et al*. 2007), evaluaron la eficiencia de las semillas de *M. oleífera* como coagulante natural en la potabilización de aguas sintéticas con valores de turbidez de 75 y 150 NTU. Por otra parte, Muyibi & Okuofu (1995), evaluaron el efecto del aceite extraído de las semillas de *M. oleífera* sobre la coagulación de aguas, con turbidez inicial entre 56 y 451 NTU, reportando valores de remoción superiores al 87%.

Los cactus contienen una sustancia que al contacto con el agua toma una consistencia coloidal. Basado en esta propiedad que presenta el cactus se hicieron estudios de la acción coagulante en la Universidad del Atlántico, Barraquilla, Colombia por los Ingenieros químicos Fonseca & Vásquez (1984). En esta investigación se determinó que el cardón guajiro (*L. griseus*), como coagulante puede llegar a representar una alternativa para ser usado en plantas de tratamiento de aguas, para turbiedades comprendidas entre 30 y 190 NTU el cardón es capaz de reducir la turbiedad en aguas decantadas a valores comprendidos entre 5 y 10 NTU, además en este estudio se estableció, a diferencia de los coagulantes convencionales que forman los flocs en las etapas de mezcla lenta, que con el cardón guajiro (*L. griseus*) los flocs aparecen instantáneamente en la etapa de mezcla rápida; esto presenta una gran ventaja pues disminuye el tiempo de residencia y con ello se aumenta el volumen de agua tratada, por otro lado se implantó que el cardón produce los mejores efectos de coagulación cuando la solución dosificadora tiene una concentración comprendida entre el 2% y el 5%, y que los factores o agentes químicos que intervienen en la coagulación tales como el pH, la pre cloración, la presencia de otros coagulantes y la alcalinidad no modifican el poder coagulante del cardón.

La planta de tratamiento de aguas residuales Estación Salguero ubicada en Valledupar, Colombia, descarga su efluente en la fuente hídrica del río Cesar, el cual ha presentado valores máximos de turbidez desde 25 hasta 67 NTU. En esta investigación se evaluó la eficiencia de las semillas de moringa y el cardón guajiro con los coagulantes químicos sulfato de aluminio y policloruro de aluminio PAC en la remoción de nutrientes en efluente de agua residual.

## Materiales y métodos

Las muestras de agua residual (40l) se colectaron en el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento Salguero, antes de ser vertidas a la fuente hídrica del rio Cesar. La planta se encuentra ubicada en el sureste del municipio de Valledupar, departamento de Cesar, Colombia. Las muestras colectadas se trasladaron al laboratorio agroindustrial CIDI de la Universidad Popular del Cesar y se almacenaron para su posterior caracterización.

***Preparación de la solución de los coagulantes naturales cardón guajiro (L. griseus) y M. oleífera***

Las plantas de cardón guajiro (*L. griseus*), se recolectaron en estribaciones de San Juan del Cesar en el departamento de La Guajira, Colombia. La parte aprovechable del cardón es la pulpa del tallo o sea la sección comprendida entre la corteza y la medula tubular leñosa. La pulpa fue separada de las espinas, la corteza y de la medula tubular leñosa y ésta fue sometida a trituración a través de un mortero, hasta obtener el producto coagulante mediante la filtración a la que fue sometido.

Las semillas de la *Moringa oleífera*, fueron suministradas por la empresa COLMORINGA en Bogotá D.C., la especie se reproduce en abundancia en el departamento de Tolima, Colombia. Se trasladaron al laboratorio aproximadamente 300 semillas secas sin uniformidad de tamaño, provenientes de varias plantas. Posteriormente se extrajeron los cotiledones de las semillas y licuaron (licuadora tradicional) con 2.5 mg con 100 ml de agua destilada; la solución se filtró y se utilizó como coagulante, obteniendo una solución de color testigo amarillento, de aspecto bastante grasoso y olor muy particular.

***Preparación de la solución de los coagulantes químicos policloruro de aluminio (PAC) y sulfato de aluminio $AL_2(SO_4)^3$***

Los coagulantes químicos sulfato de aluminio y poli-cloruro de aluminio (PAC), se trabajaron con la concentración comercial para tratar aguas residuales.

***Proceso de coagulación***

La evaluación de la coagulación se llevó a cabo utilizando un aparato de prueba de jarro; se agregó 1l de agua residual a cada uno de los 6 vasos, de 2l cada uno. Los recipientes se colocaron por debajo de los agitadores y se les proporcionó una velocidad de 100 rpm; dejando uno de estos como patrón. Posteriormente, se procedió a agregar los coagulantes naturales y químicos, al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, 1min); las diferentes dosis de coagulantes químicos y naturales respectivamente (45, 50, 55, 60, 65 mg $l^{-1}$; y dosis mayores para los naturales 600, 650, 700, 750, 800 mg $l^{-1}$), las dosis se agregaron en cada vaso usando una pipeta para el mezclado rápido y luego se procedió al mezclado lento, para finalizar con la fase de sedimentación.

Con los coagulantes químicos se manejó un mezclado lento (40rpm), el agua se dejó flocular por 15min para finalizar en la fase de sedimentación (10min). Los coagulantes naturales como *M. oleífera* se manejaron con un mezclado lento (30rpm), para finalizar con la fase de sedimentación (60 min); con el coagulante obtenido del cardón guajiro (*L. griseus*) se manejó una mezcla lenta de (60rpm) y la sedimentación (60 min).

***Parámetros analizados***

La turbidez, pH, temperatura, fosforo total, Demanda química de oxígeno, Demanda biológica de oxígeno, algas y sólidos suspendidos totales, se

determinaron según lo establecido en los métodos estándar (APHA, AWWA, WEF, 1998). La turbidez se midió en el turbidímetro digital Scientic, Inc modelo HACH 2100 AN. Para medir la temperatura se hizo con lectura directa del termómetro, el pH con lectura directa pHmetro; el fosforo total se determinó con espectrofotometría, y la Demanda Química de Oxigeno (DQO): se realizó mediante el método de reflujo cerrado (colorimétrico y titulométrico). SM 5220 D, finalmente la Demanda Biológica de Oxigeno (DBO): Dilución e incubación 5 días. SM 5210 B.

## Resultados

***Caracterización físico-química del efluente de la planta de aguas residuales "El Salguero"***

Los parámetros fisicoquímicos iniciales de las muestras de agua se muestran en la Tabla 1. Las concentraciones de algunos parámetros como los sólidos suspendidos totales arrojan resultados de 76,33 mg $l^{-1}$ que comparados con los resultados del afluente, datos suministrados por la empresa de servicios públicos EMDUPAR (2011), muestran que sólo se alcanza a remover el 38.44% durante todo el tratamiento desde la entrada del sistema de tratamiento de aguas residuales hasta la llegada del agua al cuerpo receptor, valores que se encuentran por encima del valor máximo admisible permitido por la norma (Decreto 3930/2010 Art.72. SST ≥ 50% en carga para usuario existente). Sin embargo la DQO y DBO muestran remociones de 60% cumpliendo con la normatividad Colombiana de vertimientos (Decreto 3930/2010 art 72 DQO ≥30% en carga para usuario existente), pero es necesario la eliminación de estos parámetros porque afectan significativamente el cuerpo de agua; por otro lado las concentraciones de fosforo total en el efluente tratado fueron de hasta 33,66 mg $l^{-1}$ permitiendo gran turbiedad y alta concentración de algas.

***Tabla 1.*** *Parámetros fisicoquímicos iniciales del efluente de la planta de tratamiento "El Salguero"*

| Parámetros Fisicoquímicos | Unidad de Expresión | Efluente de Estación Salguero |
|---|---|---|
| Temperatura | °C | 24.6 |
| pH | UpH | 7.01 |
| Turbidez | NTU | 42.9 |
| SST | mg $l^{-1}$ | 76.33 |
| DQO | mg $l^{-1}$ | 194 |
| DBO | mg $l^{-1}$ | 88 |
| Fosforo Total | mg $l^{-1}$ | 33.66 |
| Algas | mg $l^{-1}$ | 1.10376 |

***Dosis óptima de sulfato de aluminio, policloruro de aluminio (PAC), M. oleífera y cardón guajiro (L. griseus)***

Los resultados de las pruebas de jarras de cada uno de los coagulantes muestra las dosis óptima de los diferentes tratamientos donde se obtuvieron las turbiedades más bajas, teniendo en cuenta que la turbidez del efluente de la planta de tratamiento El Salguero varía desde 25 a 67 NTU. Con los coagulantes químicos sulfato de aluminio y policloruro de aluminio se manejaron dosificaciones a partir de 45 mg $l^{-1}$ a 65mg $l^{-1}$,

obteniéndose en el caso del sulfato de aluminio una dosis de 55 mg $l^{-1}$, una turbidez de 6,35 NTU. Para el policloruro de aluminio con una dosis de 50 mg $l^{-1}$ se obtuvo una turbidez bastante baja de 0,333 NTU (Figura 1) lo que corrobora una vez más que el policloruro de aluminio presenta buen rendimiento como coagulante primario logrando cumplir con la Normativa Colombiana según lo descrito en el Articulo N°72 Turbidez ≥ 5 NTU (Decreto 3930 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2010). Con las dosis de coagulantes químicos se obtuvieron sobrenadantes clarificados, removiéndose el color aparente y observándose en el fondo de cada una de las jarras una capa de color verde; que se le atribuye a la sedimentación de algas y a los sólidos en suspensión. El mecanismo de adsorción neutralización de cargas predomina en las bajas dosificaciones de sulfato de aluminio, mientras que el mecanismo de barredura predomina en mayores dosificaciones de coagulante.

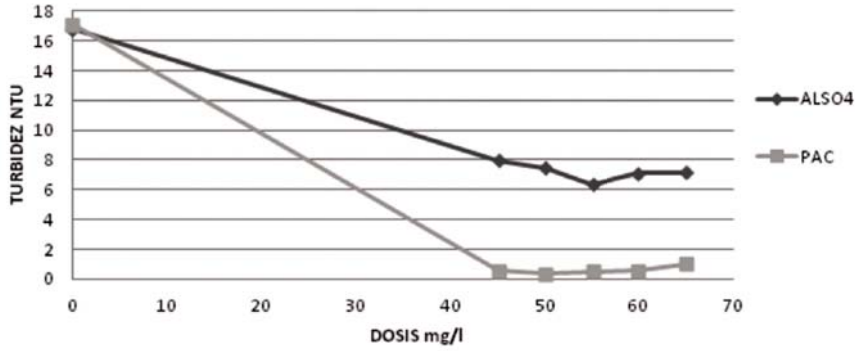


**Figura 1.** Dosis óptima de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio

En relación a los coagulantes naturales *M. oleífera* y cardón guajiro (Figura 2), se manejaron dosis mayores a diferencia de los coagulantes químicos. En el caso de *M. oleífera* se utilizaron dosis de 600 mg $l^{-1}$ a 800 mg $l^{-1}$, obteniéndose la turbidez más baja de 6.56 NTU con una dosis de 700 mg $l^{-1}$; y para el cardón guajiro se utilizaron dosis desde 1200 mg $l^{-1}$ hasta 1800 mg $l^{-1}$ siendo la dosis óptima de 1500 mg $l^{-1}$ alcanzando una turbidez de 10,6 NTU. La efectividad de los coagulantes *M. oleífera* y sulfato de aluminio se comparó para turbiedades iniciales de 7, 11, 15, 20, 29, y 49 NTU. Para cada coagulante se aplicó la dosis óptima.

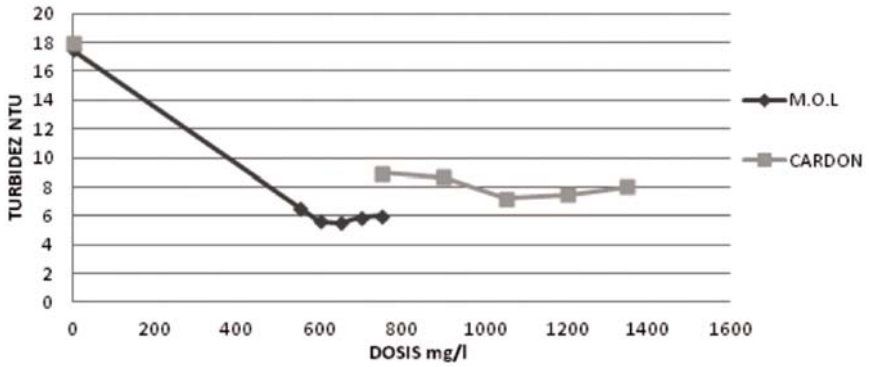


**Figura 2.** Dosis óptima de *Moringa oleífera* y cardón guajiro

Al evaluar a escala laboratorio la remoción de SST se obtuvo que en todos los tratamientos existieron significativas remociones, incluso en el testigo que no tenía ningún tipo de tratamiento se lograron apreciables valores de remoción; situación que podría obedecer a que la reducción de sólidos suspendidos se rige por procesos físicos como sedimentación, decantación, y también filtración, sin embargo los mayores porcentajes de remoción promedio fueron obtenidos en los tratamientos con el policloruro de aluminio (PAC) con un 91,16%, y siguió el tratamiento con sulfato de aluminio ($ALSO_4$) con un 84,12%, por último se presentan los coagulantes naturales, con *M. Oleífera* se logró un porcentaje de remoción de 73,20%, seguidamente el tratamiento con cardón guajiro (*L. griseus*) con 65,36% y con el menor valor de remoción los testigos con un 43,10%; (Figura 3). Por todo esto se puede afirmar que el tratamiento con el policloruro de aluminio PAC fue el más eficiente, puesto que posee excelentes porcentajes de remoción y cumple ampliamente con la Normativa Colombiana en relación al Art.72. SS≥ 50% en carga para usuario existente (Decreto 3930 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2010). Es importante destacar que el criterio para seleccionar la concentración óptima del coagulante sulfato de aluminio se corresponde a una menor concentración que permita obtener una menor turbidez y menor residual de aluminio, ya que la ingesta en altas concentraciones de este metal es perjudicial para la salud.

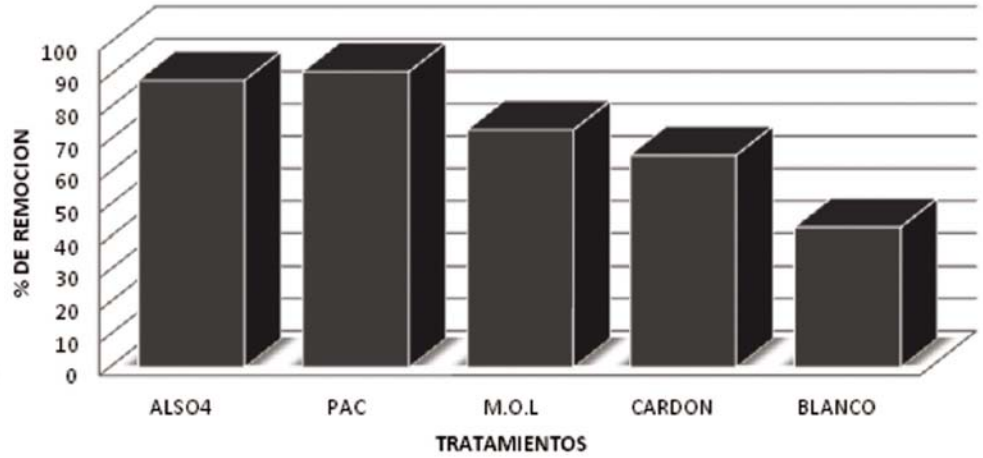


**Figura 3.** Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales por cada tratamiento

En promedio, el rango de pH entre los tratamientos con policloruro de aluminio PAC, *Moringa Oleífera* y cardón guajiro (*L. griseus*) estuvo en 7,01(Ajustándose al Decreto 3930/2010 Art.72. pH de 5 a 9 unidades), esto valores de pH contrastan con lo establecido por Ndabigengesere *et al*. (1995) donde señalan que el proceso de coagulación no se ve alterado por el pH inicial del medio; dicho de otro modo, el proceso de coagulación es independiente del pH. Este es un dato muy interesante desde el punto de vista para su aplicación directa en una planta de tratamientos de aguas, ya que no se debe corregir el pH del agua al ingreso del proceso. El valor promedio de pH obtenido con el tratamiento de sulfato de aluminio se encontró en 4,8 (Figura 4.); valor que no es recomendable para la buena salud de los cuerpos de agua ya que tener pH bajos puede alterar la flora y la fauna nativa y además puede afectar la posible utilización de estas aguas (cuerpo receptor) para las actividades antrópicas.

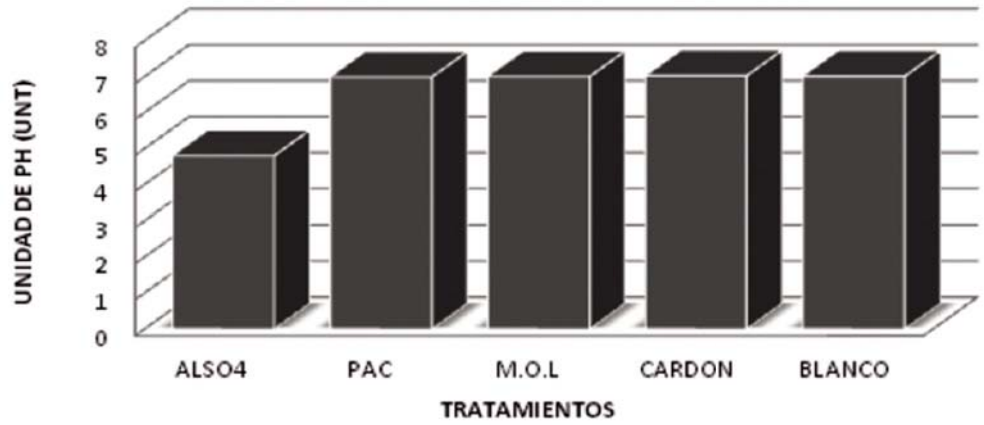


**Figura 4.** pH promedio por cada tratamiento.

Los resultados obtenidos en el estudio de la Demanda Química de Oxigeno mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, es así como al analizar la remoción de este parámetro se observaron mayores remociones entre los tratamientos con los coagulantes químicos sulfato de aluminio con 84,71% y policloruro de aluminio con 81,91%, y el coagulante natural cardón guajiro (*L. griseus*) con una remoción de 80,24% (Figura 5) logrando cumplir ampliamente con la norma ambiental según el art 72 DQO ≥30% en carga para usuario existente (Decreto 3930 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2010).

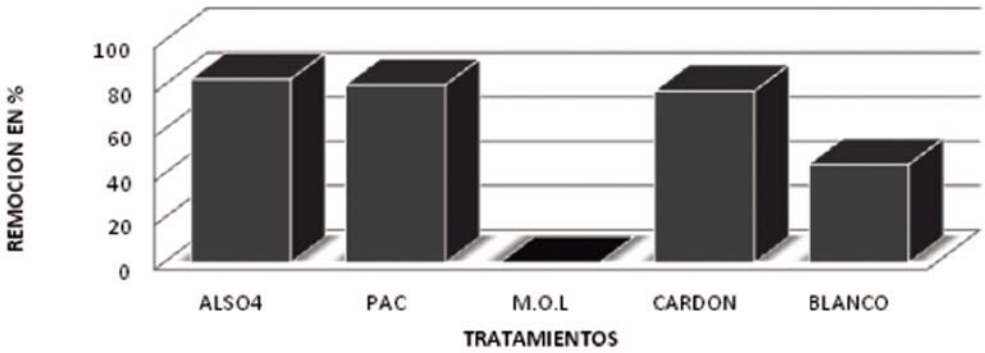


**Figura 5.** Porcentaje de remoción de DQO por cada tratamiento

En la DBO se puede observar en la Figura 6 que los mayores valores de remoción fueron los obtenidos con los tratamientos de sulfato de aluminio (ALSO4) y policloruro de aluminio (PAC) en 69,95% y 64,27% respectivamente. Con respecto al tratamiento con cardón guajiro (*L. griseus*) se obtuvo una remoción de DBO de 62,63% e incluso en la muestra sin tratamiento es decir el testigo existió una mínima remoción de 25,51% lo que indica que estos tratamientos cumplen ampliamente con la normatividad colombiana (Decreto 3930/2010 art. 72 DBO ≥ 30% en carga, para usuario existente); a pesar de que la *M. oleífera* es un coagulante de origen natural al igual que el cardón guajiro (*L. griseus*) se pudo apreciar que la concentración de DBO aumentó esto es debido que la DBO contenida en la solución de *M. oleífera* queda suspendida en la muestra y no se sedimenta con el floc formado, este aumento es un

factor negativo para los procesos de descontaminación de una planta de tratamiento de aguas residuales y además puede afectar la utilización de la *M. oleífera* como coagulante.

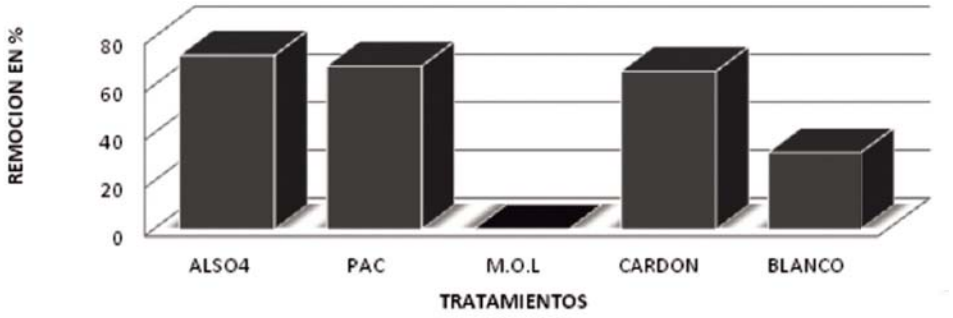


**Figura 6.** Porcentaje de remoción de DBO en cada tratamiento

## Discusión y conclusiones

En los diferentes tratamientos manejados en la prueba de jarras se obtuvieron las turbiedades más bajas (Tabla 2), teniendo en cuenta que la turbidez del efluente de la planta El Salguero varía desde 25 a 67 NTU, este registro es similar a los valores de turbidez de 7 y 49 NTU manejados por Mendoza *et al*., (2000) y los registros de 75 y 150 NTU aportados por Caldera *et al*., (2007) para la potabilización de aguas crudas sintéticas.

Ledo *et al*. (2009) identificaron que la mejor eficiencia de remoción por parte del sulfato de aluminio fue observada en la dosificación de 15 mg $l^{-1}$ correspondiendo a un porcentual de remoción del 84% y en dosificaciones por encima de 80 mg $l^{-1}$, se verificó la formación de copos mayores y una mejora en la remoción de turbiedad. En esta investigación el sulfato de aluminio con la dosis de 55 mg $l^{-1}$, obtuvo una turbidez de 6,35 NTU. Para el policloruro de aluminio con una dosis de 50 mg $l^{-1}$ se obtuvo una turbidez bastante baja de 0,333 NTU. Ndabigengesere*et al*. (1995), compararon el rendimiento de los coagulantes sulfato de aluminio y *M. oleífera* y verificaron que los dos coagulantes presentaron dosis óptimas próximas a 50 mg $l^{-1}$. Por otra parte, según Schwarz para aguas con turbiedad debajo de 50 NTU, la banda de dosis de semillas empleada es entre 10 y 50mg $L^{-1}$. (Schwarz, 2000). Algunos investigadores presentan resultados similares, pudiéndose citar: Lacerda (1997), Pavanelli (2001), Teixeira (2003), entre otros.

***Tabla 2.*** *Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual tratada con coagulantes*

| Parámetro | $Al_2(SO_4)_3$ | %R | PAC | %R | M.O.L | %R | Cardón | %R | Testigo | %R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DQO | 29,66 | 84,71 | 35,1 | 81,91 | 197,98 | - | 38,34 | 80,24 | 93,33 | 51,89 |
| DBO | 26,44 | 69,95 | 31,44 | 64,27 | 110,25 | - | 32,89 | 62,63 | 65,55 | 25,51 |
| Fosforo | 10,82 | 67,86 | 8,121 | 75,87 | 4,96 | 85,26 | 3,18 | 90,55 | 18,55 | 44,89 |
| Algas | 0,0262 | 97,63 | 0,132 | 88,08 | 0,1603 | 85,48 | 0,19113 | 82,68 | 0,76877 | 30,35 |
| SST | 12,12 | 84,12 | 6,75 | 91,16 | 20,46 | 73,20 | 26,44 | 65,36 | 43,43 | 43,10 |
| pH | 4,8 | | 6,29 | | 6,96 | | 7 | | 7,01 | |

Al evaluar a escala laboratorio el efecto de los coagulantes químicos y naturales en la eliminación de fosforo, se pudo apreciar que existieron diferencias significativas entre los tratamientos con coagulantes naturales vs tratamientos con coagulantes químicos. Los tratamientos con coagulantes naturales lograron los mayores porcentajes de remoción: con *M. oleífera* 85,26% y cardón guajiro (*L. griseus*) 90,55%. Posteriormente se encuentran los tratamientos con coagulantes químicos: policloruro de aluminio y sulfato de aluminio los cuales obtuvieron remociones de 77,87% y 67,86%, respectivamente, y los testigos 44.89% manteniendo los menores valores de eliminación de este parámetro (Figura 7).

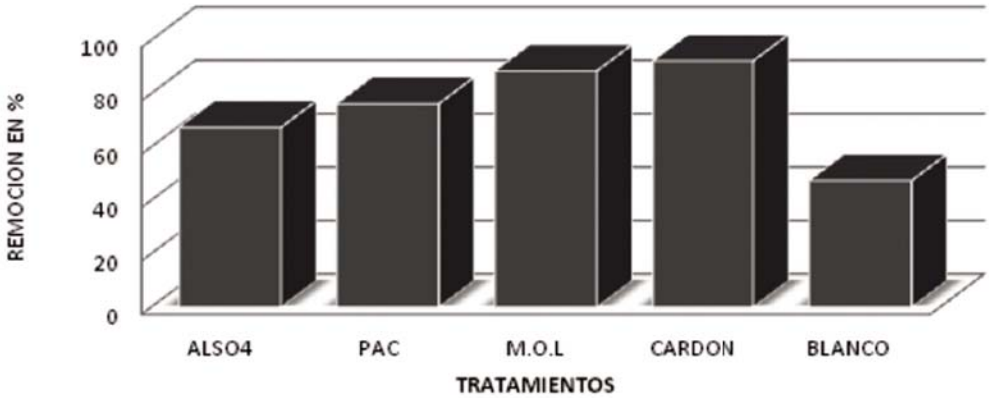


**Figura 7.** Porcentaje de remoción de fosforo total por tratamiento.

Las dosis aplicadas de ambos coagulantes fueron similares para cada valor de turbidez inicial a excepción de la muestra con turbidez inicial de 20 NTU que requirió 35 mg $l^{-1}$ de sulfato de aluminio y 15 mg $l^{-1}$ de *M. oleífera* (Mendoza *et al*., 2000). Otros investigadores han reportado que, usando diferentes dosis de *M. oleífera* como coagulante en la potabilización de aguas, con valores bajos, moderados y altos de turbidez inicial, se obtienen porcentajes de remoción superiores al 50% (Muyibi & Okuofu, 1995).

A diferencia de los coagulantes químicos que forman los flocs en la etapa de mezcla lenta, en los coagulantes naturales en estudio los flóculos aparecen en la mezcla rápida; esto representa una gran ventaja pues disminuye el tiempo de residencia y con ello se aumenta el volumen de agua tratada; estos flóculos resultan de buena consistencia, de ahí que los gradientes altos de velocidad de floculación, lejos de desintegrarlos favorecen su aglutinación (Fonseca & Vásquez, 1984).

La efectividad en la remoción de turbidez de ambos coagulantes es equiparable, sin embargo, la *M. Oleífera* pudiera presentar ventajas sobre el sulfato de aluminio ya que estudios realizados han demostrado que al utilizar *M. oleífera* no quedan residuos tóxicos en el agua tratada que pudieran afectar el organismo humano, dado su origen vegetal (Jahn 1988). Sin embargo el tratamiento con *M. oleífera* no presenta ningún tipo de remoción por el contrario se aumenta la concentración de la demanda química de oxígeno en la muestra, lo que revela que este tipo de coagulante contiene DQO que al adicionarla a la muestra queda suspendida y no se sedimenta. Carpinteyro (2011), utilizó polímeros naturales como las gomas de algarrobo, semilla de mezquite y mucilago de nopal como coagulantes-floculantes para el tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales, alcanzando remociones de DQO entre 42 y 51%, mientras que en esta investigación con el cardón guajiro se obtuvieron valores del 80,24%.

Al comparar los tratamiento de macrofita *Lemna* ssp y *Eichornnia caprisses* con los coagulantes naturales y químicos, se observa que este tipo de tratamiento biológico tiene una menor eficiencia

de eliminación de fosforo que el trabajado con los coagulantes, dado que obtuvo un porcentaje promedio de 62,72%, además el tiempo de remoción por coagulación es mucho menor que el tiempo que se necesita con la utilización de *Macrofitas-lemna* ssp y *Eichornnia caprisses*. De acuerdo con la investigación la eliminación de algas con los tratamientos químicos resultó altamente efectiva (Figura 8); la mayor remoción de algas se obtuvo con el tratamiento de sulfato de aluminio en un 97.63% seguido del tratamiento con policloruro de aluminio en un 88.08%, posteriormente se encuentra los tratamientos con los coagulantes naturales con una remoción de 85,48% para la *M. oleífera* y 82.68% para el cardón guajiro (*L. griseus*) valores muy importantes porque con la eliminación casi completa de este parámetro se excluye la existencia del color y la turbidez en el agua, además se atribuye que esta ausencia de masa de algas permite establecer que no hay presencia de fosforo en el agua. La mayor remoción de algas se obtuvo con el coagulante de sulfato de aluminio, aunque no existe correlación entre eliminación de algas y la turbiedad final obtenida con la aplicación de este coagulante, coincide con lo hallado por States, Tomko, Scheuring & Casson (2002); quienes afirman que la turbiedad no siempre es un indicador confiable de la remoción de algas ya que, aun cuando altos niveles de turbiedad pueden ser un indicio del pasaje de algas, valores bajos no proveen absoluta confianza sobre la eliminación de las mismas. Estos altos porcentajes de eliminación de algas, que indican una disminución notoria de la carga de nutrientes, contribuirían al éxito en el proceso de descontaminación del agua residual. Como se puede observar en el Figura 8 el testigo, que no contiene ningún tipo de tratamiento, presenta también un valor mínimo de remoción de 30,35%, se considera que esta pequeña remoción se da por procesos físicos (sedimentación, decantación, y también filtración).

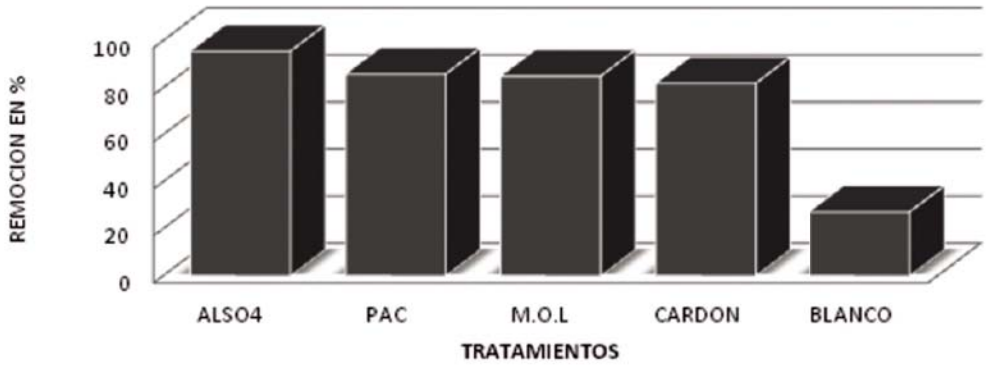


**Figura 8.** Porcentaje de remoción de algas por tratamiento

Estos resultados avalan a la *M. oleífera* como una posible alternativa natural en la potabilización de las aguas, ya que garantiza no sólo lograr con éxito el proceso de coagulación, sino también, la ausencia de residuos. Sin embargo, al hacer un análisis de costo se encontró que los costos de tratamiento con *M. oleífera* son excesivamente altos en comparación con los del sulfato de aluminio. Estos costos tan altos se deben al empleo de éter de petróleo y alcohol isopropílico para la eliminación de la grasa presente en las semillas. El costo que genera la utilización de papel de filtro en la etapa de extracción de la grasa resultó insignificante. Todas estas consideraciones validan la potencialidad de esta especie vegetal en el tratamiento de aguas, razones por las cuales se debe seguir investigando, especialmente en lo relacionado al establecimiento de un procedimiento de extracción de la grasa más económico (Mendoza *et al*., 2000).

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar en el municipio de Valledupar, Colombia, por la financiación del proyecto investigación realizado y por el apoyo en el desarrollo exitoso del mismo, tanto en la fase de campo como en la de laboratorio, ofreciendo sus instalaciones.

## Literatura citada

1. Arboleda, J (1997). Teoría, Diseño y control de los procesos de clarificación del agua, Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Lima Perú.
2. APHA/AWWA/WEF (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation, Washington, DC.
3. Caldera, Y., Mendoza, I.. Briseño, L., García, J. & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de *M. oleífera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. Boletín del centro de investigaciones biológicas volumen 41, no. 2: 244–254 Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
4. Carpinteyro Urbán, Sandra Lucero (2011). Tratamiento de Aguas Residuales Empleando Polímeros Naturales y Biodegradabilidad de los Lodos Generados. Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnologia. México, D.F. Junio.
5. Castro, F.J.F & Silva, F.J.A. (2004). *Moringa oleífera* na Melhoria da Qualidade de Efluentes de UASB e de Lagoa de Maturação-Remoção de Cor e Turbidez. In: XI SILUBESA - Simposio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal/RN.
6. Centro Panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente CEPIS (1983). Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua, Lima (Perú), 85-623.
7. EMDUPAR, Empresa de Servicios Públicos de Valledupar. (2011). Estudio de Caracterización del Agua Residual Afluente y Efluente El Salguero.
8. Fonseca Gómez, Demóstenes & Vásquez Espalza, Miguel. (1984). El cardón como coagulante en el tratamiento de agua. Universidad del Atlántico Barraquilla.
9. Gao, B., Hahn, H. & Hoffmann, E. (2002). Evaluation of aluminum-silicate polymer composite as a coagulant for water treatment. *Water Research 36*: 3573–3581.
10. Ghebremichael, K.A. et al. (2005). A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleífera* seed. *Water Research: 39*, 2338-2344 (2005).
11. González, G., Chávez, M., Mejias, D., Mas, M., Rubí, Y., Fernández, N & León, G. (2006). Uso del exudado gomoso producido por Samanea saman en la potabilización de las aguas. *Rev. Técnica Fac Ingeniería Univ. del Zulia 29:* 14–22.
12. Jahn Saa. (1988). Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *J Am Water Works Assoc;80*:43–50
13. Lacerda, M.R.S. (1997). A Influência do pH de Coagulação e do Tempo de Floculação na Flotação por ar Dissolvido no Tratamento de *Água* com Baixa Turbidez e Presença de Algas. Tesis de Magister, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNB, Brasília, Brasil.
14. Ledo, P., Lima, G., Raquel, F.S., João, B.A. & Duarte, M. (2009). Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de *Moringa oleífera* para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. V. 20 n.5: 3-12.
15. López, A. S. & Silva, F. (2004). Tratamiento de Efluente de Tanque de Piscicultura com *Moringa oleífera*. In: XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal/RN (2004).
16. Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, A. & Fernández, N. (2003). Eficiencia del Cactus Lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de las aguas. Rev. Técnica Fac. Ingeniería Univ. del Zulia 26: 27–33.
17. Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G. & Díaz, Y. (2000). Uso de la *Moringa oleífera* como coagulante en la potabilización de las aguas. *Ciencia 8:* 243–254.
18. Muyibi, S. & Okuofu, C. (1995). Coagulation of low turbidity surface water with *Moringa oleífera seeds. Intern. J. Environ. Studies 48: 263–273.*
19. Ndabigengesere A., Narasiah, K.S. & Talbot, B.G. (1995). Active Agents and Mechanism of Coagulation of Turbid Waters Using *Moringa oleífera*. *Water Research: 29* (2), 703-710.
20. Ndabigengesere, A. & Narasiah, K.S. (1998). Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa *oleífera* Seeds. *Water Research: 32*(3), 781-791.
21. Okuda, T., A.U. Baes, W. Nishijima & Okada, M. (2001). Coagulation mechanism of salt solution extracted active components in *Moringa oleífera* seeds. *Water Res 2001;35*:830–4.
22. Okuda, T., A.U. Baes, W. Nishijima & Okada, M. (2001). Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleífera* seed by salt solution. *Water Re 2001;35*:405–10.
23. Okuda, T., A.U. Baes, W. Nishijima & Okada, M. (2001b). Coagulation mechanism of salt solution- extracted active component in *Moringa oleífera* seeds. *Water Research: 35*(3), 830-834 (2001b).
24. Okuda, T., A.U. Baes, W. Nishijima & Okada, M. (2001a). Isolation and Characterization of Coagulant Extracted from *Moringa oleífera* Seed by Salt Solution. Water Research: 35(2), 405-410 (2001a).
25. Pavanelli, G. (2001). Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e Sedimentação de *Água* com Cor ou Turbidez Elevada. Tesis de Magister, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, Brasil.

**26.** Presidencia de la Republica de Colombia Decreto 3930 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2010.

**27.** Revista Cenic Ciencias Químicas. (2005). Empleo de un producto Coagulante Natural para Clarificar Agua. Vol. 36. Especial. La Habana, Cuba

**28.** Romero Rojas, Jairo Alberto. (1998). Acuitratamiento por las lagunas de estabilización. Santa fe de Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.

**29.** Schwarz, D. (2000). Water clarification using *Moringa oleífera*. Eschborn, Germany.

**30.** States, S., Tomko, R., Scheuring, M. & Casson, L. (2002). Enhanced coagulation and removal of *Crysptosporidium*. *J. AWWA. 94*: 67- 77.

**31.** Stauber, J., Florence, L., Davies, C., Adams, M. & Buchanan, S. (1999). Bioavailability of alin alum treatment drinking water. *J. American Water Works Assoc. 91*: 84–93.

**32.** Teixeira, P.C. (2003). Emprego da Flotação Por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluentes de Lavagem de Veículos Visando a Reciclagem da *Água.* (tesis de Magister), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 07 de marzo de 2015
Aceptado: 27 de abril de 2015

# Biomasa aérea almacenada en *Ficus soatensis* y *Tecoma stans* en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, Colombia

## Aerial biomass stored in *Ficus soatensis* and *Tecoma stans* in the locality of Puente Aranda, Bogota, Colombia

### *Biomassa acima do solo armazenada em soatensis e Ficus soatensis and Tecoma stans na localidade de Puente Aranda, Bogotá, Colômbia*

**Jeniffer Paola Gracia Rojas[1] & Edgard Ernesto Cantillo Higuera[2]**

[1]Administradora Ambiental, Magister en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental.
[2]Ingeniero Forestal, Especialista en Gerencia de Recursos Naturales,
Magíster en Biología, Doctor en Ciencias Biología.

[1]Administración Ambiental y de los Recursos Naturales. Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias y Tecnologías. [2] Proyecto curricular de Ingeniería Forestal. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.[1, 2]Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Avenida Circunvalar Venado de Oro, Bogotá. Colombia.

[1]jeniffergracia@ustadistancia.edu.co, [2]ecantillo@udistrital.edu.co

## Resumen

En Colombia son pocos los estudios realizados de biomasa aérea forestal. Esta investigación tuvo la finalidad de conocer la cantidad de biomasa aérea almacenada en las especies *Ficus soatensis* y *Tecoma stans,* en la localidad de Puente Aranda, de la ciudad de Bogotá, Colombia, a partir de mediciones de Diámetro a la altura del pecho (DAP), altura y peso específico de la madera para estimar la biomasa mediante el uso de varios modelos utilizados de ecuaciones alométricas. A partir de la información obtenida, se desarrolló un modelo alométrico como propuesta de esta investigación para estimar la biomasa en especies forestales de uso urbano. La biomasa estimada total de las dos especies en la localidad varió entre 233,56 y 254,83 kg ha$^{-1}$; fue menor en *T. stans*, en la cual osciló entre 27,3 y 31,76 kg ha$^{-1}$, y mayor en *F. soatensis* con valores entre 183,38 y 245,95 kg ha$^{-1}$. Con estos resultados se concluye que la cantidad de biomasa, y por tanto, de carbono almacenado por estas dos especies es muy baja, infiriendo que estas especies no son grandes almacenadoras de carbono debido a su porte medio y su lento crecimiento.

**Palabras clave:** dasometría, modelos alométricos, cambio climático.

## Abstract

In Colombia there are few studies of forestry aerial biomass. In order to know the amount of biomass stored in *Ficus soatensis* and *Tecoma stans* in the locality of Puente Aranda forestry aerial biomass Bogotá, Colombia, DAP, specific height and weight of the timber were measured to estimate the quantitity of wood biomass using allometric equations mentioned in literature. From the information obtained, anallometric model to estimate urban use biomass plantations was developed. The total estimated

biomass of the two species in the locality with 95% confidence varied between 233.56 and 254.83 kg ha$^{-1}$, it was lower in *T. stans*, which ranged between 27.3 and 31.76 kg ha$^{-1}$ and higher in *F. soatensis* which ranged between 183.38 and 245.95 kg ha$^{-1}$. It is concluded that the amount of biomass and therefore carbon stored in these two species is very low, since they are not carbon reservoirs because of their middle size and slow growing.

**Keywords:** mensuration, allometric models, climate change.

## Resumen

Na Colômbia existem poucos estudos de biomassa aérea florestal. Esta pesquisa foi destinada a determinar a quantidade de biomassa aérea armazenada nas espécies Ficus e Tecoma stans, na cidade de Puente Aranda, Bogotá, Colômbia, a partir de medições de diâmetro à altura do peito (DAP ), altura e peso específco da madeira para estimar a biomassa usando vários modelos utilizados, equações alométricas. A partir das informações obtidas, foi desenhado um modelo alométrico como proposta desta pesquisa, para estimar a biomassa florestal de espécies no uso urbano. A biomassa total estimada nas duas espécies na cidade variou entre 233,56 e 254,83 kg ha-1; foi menor em T. stans, que variou entre 27,3 e 31,76 kg ha-1, e maior em F. soatensis com valores entre 183.38 e 245.95 kg ha-1. Com estes resultados, conclui-se que a quantidade de biomassa, e por tanto, o carbono armazenado por estas duas espécies é muito baixa, o que implica que estas espécies não são grandes armazenamentos de carbono por causa de seu medio porte, e crescimento lento.

**Palavras-chave**: mensuração, modelos alométricos, alterações climáticas.

## Introducción

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC (1996), la medición de la concentración de Dióxido de Carbono ($CO_2$) en la atmósfera es uno de los métodos que demuestra la relación directa que existe entre este compuesto y el aumento de temperatura del planeta; los resultados de estas mediciones, determinan una concentración en la atmosfera de cuatro toneladas de $CO_2$ per cápita en promedio y un aumento de la temperatura de cerca de 0,74°C con relación a la temperatura del siglo XIX (Modi, 2005). Además, el aumento de temperatura en la tierra está causando una serie de hechos que afectan la economía, los hábitos de las sociedades y generan cambios en el equilibrio de los ecosistemas (Gore, 2007). La concentración de $CO_2$ actualmente es superior a 380 partes por millón (Duarte *et al*., 2006).

Colombia no es ajena a esta realidad; justamente en el país se emite $CO_2$ a la atmósfera aportado principalmente por las actividades industriales, el parque automotor, el sector agropecuario, entre otros. En Bogotá su capital, según lo expresado por la Secretaria Distrital de Ambiente (2011), la emisión de $CO_2$ por habitante por año, equivale a 1.89 t, que totalizan 13.498.244.31 t año$^{-1}$ de $CO_2$eqGEI. El $CO_2$eqGEI es una unidad de referencia para comparar las emisiones de GEI, teniendo en cuenta que una emisión de $CO_2$eq, es la cantidad de emisión de $CO_2$ durante un horizonte de tiempo dado, el mismo integrado a lo largo del tiempo que una cantidad emitida de GEI de larga permanencia o una mezcla de GEI. (IPCC, 2007) de los cuales el 18% son producidos en agricultura, silvicultura y usos del suelo, el 22% son generados por residuos y 60% emanados por la energía. (SDA, 2011)

La biomasa se ha utilizado para realizar estudios de productividad primaria y contenido de carbono, nutrientes y energía, entre otros (Bonham, 1990). Esta información es imprescindible para comprender el papel que cumplen las especies en

la mitigación del cambio climático. Los árboles al capturar dióxido de carbono atmosférico y fijarlo en sus estructuras vivas a través del proceso de la fotosíntesis, acumulan carbono en su biomasa, transfieren parte del mismo al mantillo en descomposición y al suelo; de esta manera, constituyen varias reservas de carbono. La acumulación es influenciada principalmente por factores físicos, edáficos y por patrones de disturbio (Golley, 1983). Estos factores que afectan la estructura comunitaria, edáfica y las reservas de biomasa en las plantaciones forestales tropicales se asocian principalmente con gradientes latitudinales y altitudinales que se relacionan con las diferencias microclimáticas, características físicas y químicas de los suelos, la topografía y las condiciones de humedad del suelo (Clark & Clark, 2000; Alves, *et al.*, 2010; Laumonier, *et al.,* 2010; Wittmann *et al.*, 2008). Los procesos de disturbio también se consideran como condicionantes en esta variación (Urquiza-Haaset, Dolman & Pérez, 2007). La combinación de estos factores conforma unidades ecológicas con características propias.

Para caracterizar de manera cualitativa y cuantitativa las plantaciones forestales, es necesario realizar un inventario detallado de sus aspectos más relevantes como su composición florística, estructura vertical, distribución diamétrica, densidad, abundancia, siendo un parámetro importante la determinación de la biomasa, definida como la cantidad de materia seca por unidad de superficie (*p. ej.* g/cm$^2$, kg/m$^2$, t/ha), que difiere de la productividad a la que hace referencia Odum, (1995) la cual se refiere a la acumulación de biomasa por unidad de tiempo (*p. ej.* t ha$^{-1}$ año$^{-1}$) (De las Salas, 1987). La biomasa vegetal se refiere como biomasa aérea (toda aquella fitomasa viva que se encuentra por encima del nivel del suelo), biomasa muerta o necromasa (compuesta por detritos acumulados en la superficie del suelo) y biomasa subterránea o hipogea (comprende fundamentalmente el sistemas radicular) (Russo, 1983).

En Colombia son pocos los estudios de biomasa aérea forestal con un método indirecto; aunque se han realizado estudios de biomasa a partir de imágenes satelitales MODIS para ecosistemas. (Anaya, Chuvieco & Palacios, 2008). En el país se han realizado estimaciones de biomasa en distintas regiones naturales del país (Anzola & Rodríguez, 2001). El IDEAM, elaboró el protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia, como base para el proyecto de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación REDD (Yepes *et al.*, 2011). Los estudios realizados en Colombia sobre el almacenamiento de carbono incluyen diferentes niveles de aproximación, que van desde mediciones puntuales en un área determinada hasta estimaciones de orden nacional.

En este artículo de investigación se presenta una estimación de la biomasa aérea de *F. soatensis* y *T. stans*, dos especies usadas frecuentemente en la silvicultura de la ciudad de Bogotá. Concretamente mediante el uso de metodologías tradicionales, se pretende resolver los siguientes interrogantes: ¿Cuánta es la reserva de biomasa aérea aportada por estas dos especies en la localidad de Puente Aranda? y ¿Cuál es la proporción de biomasa en cada una de las dos especies?

## Materiales y Métodos

### *Características del área de estudio*

El estudio se desarrolló en la localidad 16 Puente Aranda, en Bogotá D.C., ubicada en el centro de la ciudad, limitando con las siguientes Localidades: al norte con Teusaquillo, al oriente con Mártires; al sur con Antonio Nariño y Tunjuelito; al occidente con Kennedy y Fontibón (SDP, 2009).

La geografía de la localidad de Puente Aranda se distingue por tener un terreno en su mayoría llano, con un ligero desnivel de oriente a occidente el cual estuvo constituido principalmente por humedales; se encuentra ubicada a una altura aproximada de 2600 msnm. La localidad presenta dos tipos de sectores: corredor industrial y zona residencial y comercial (Salud Capital, 2005).

El diagnóstico ambiental ha determinado las siguientes características: en cuanto a calidad del aire, la Localidad de Puente Aranda, por su actividad industrial y gran flujo de vehículos que transitan, aporta la mayor parte de gases de efecto invernadero (GEI) de la ciudad; sobre la contaminación por ruido, ésta es originada principalmente por las fuentes móviles, seguidas por las fuentes fijas, que de acuerdo con la normatividad establecida, están excediendo los niveles permisibles (SDP, 2009); en lo que respecta al suelo, éste se encuentra contaminado principalmente por la inadecuada disposición de residuos sólidos en algunas zonas. Sobre el componente hídrico, se resalta la contaminación por vertimientos industriales, domésticos, así como la mala disposición de las basuras y polución térmica (Salud Capital, 2005). Además, existen otros factores que afectan el componente ambiental de la localidad, señalados en riesgos biológicos por presencia de roedores, perros callejeros y artrópodos y riesgos químicos generados por la inoperancia de ciertas industrias y fábricas que emiten emisiones atmosféricas, vertimientos líquidos y sólidos (SDP, 2009).

El clima de Bogotá D.C. presenta un único patrón de lluvias de tipo bimodal-tetraestacional; los dos períodos de lluvia se presentan, el primero en los meses de marzo, abril y mayo, y el segundo, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. De acuerdo con el Observatorio Ambiental de Bogotá (2012), las precipitaciones medias anuales han variado en los últimos 13 años entre 591 mm y 1.184 mm/año. En cuanto a la evapotranspiración potencial (ETP), Bogotá muestra valores promedio superiores a 850 mm anuales (IEU, 2011). En general en Bogotá, la temperatura varía notablemente dentro de un margen de hasta 10°C. Sin embargo la tendencia observada ha sido de temperaturas máximas y mínimas entre los meses de diciembre a marzo con valores que oscilan entre los 26°C y -5.0°C. En general, la temperatura promedio en la ciudad oscila entre 12 y 14.5°C; por esta razón, el valor medio anual de 14°C se considera representativo en la localidad de Puente Aranda (IEU, 2011). De acuerdo con la clasificación de zonas de vida (Holdridge, 1987), la localidad de Puente Aranda corresponde al bosque seco montano bajo (bs-MB) el cual se caracteriza por zonas ubicadas entre 2.000 y 3.000 msnm, con biotemperaturas entre 12 y 18°C y precipitación entre 500 y 1.000mm anuales.

**Datos de la Vegetación**

En esta investigación se utilizó un método no destructivo indirecto para la estimación de la biomasa de las especies. Se realizó la revisión del total del arbolado urbano de la localidad de Puente Aranda a partir del estudio elaborado por el Jardín Botánico "José Celestino Mutis" de la ciudad de Bogotá D.C., y se definieron las especies *Ficus soatensis* y *Tecoma stans*, por ser las de mayor abundancia dentro de la localidad (Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2007).

**Selección de los Individuos del Muestreo**

El universo de la población se determinó en 2.901 individuos, de los cuales 1.809 pertenecían a *F. soatensis* y 1.092 a *T. stans*, es decir el 62% y 38% respectivamente. De esta población se obtuvo una muestra significativa a partir de la ecuación 1:

$$n = \frac{Def\frac{z^2s^2}{e^2}}{1+Def\frac{z^2s^2}{Ne^2}} \quad (1)$$

(Zuñiga et al., 2011)

| Notación: |
|---|
| $n = Tamaño\ de\ muestra$ |
| $N = Universo\ de\ la\ población$ |
| $Def = 1$ |
| $Z = 1{,}96$ |
| $S = Variaza\ Muestral$ |
| $e = Precisión\ en\ este\ caso\ 0{,}1$ |

Con la base de datos de la ubicación geográfica en coordenadas *X* e *Y* del Jardín Botánico "José Celestino Mutis", se elaboró el muestreo basado en la técnica estadística de Muestreo Aleatorio Estratificado (MAE); una vez obtenida la muestra, se obtuvo la proporción para cada especie y la selección de los individuos a medir, lo que definió un total de 803 individuos, de los cuales 583 pertenecieron a *F. soatensis* y 220 a *T. stans*.

Una vez conocida la muestra se empleó la técnica de interpolación de capas en el programa ARC-GIS, cruzando la información del loteo de la localidad de Puente Aranda en formato shape file de la Unidad de Catastro Distrital, y la ubicación de los árboles del estudio en coordenadas *X* e *Y* de la misma localidad, lo anterior con el fin de obtener una información precisa con respecto a la ubicación geográfica de cada individuo.

*Muestreo de Árboles*

Cada uno de los individuos con Diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 2,5 cm fueron medidos así: El DAP se tomó a los 1.3 m de altura desde el suelo para cada una de los individuos, con una cinta métrica flexible en donde se obtuvo el perímetro o circunferencia (CAP) que fue convertido en DAP a partir de la fórmula: $DAP = \frac{CAP}{\pi}$ (Villareal *et al.*, 2004). Diámetro de la copa: Se estimó para cada individuo con una cinta métrica a partir de dos medidas perpendiculares bajo la copa. Altura Comercial o del fuste (hf): Se realizó una estimación corriente o "a simple vista", con ayuda de una regla guía, desde el suelo a la primera ramificación (Vallejo *et al.*, 2005). Altura total (ht): Siguiendo el mismo método empleado para la medición de la altura del fuste, se estimó la altura total como la distancia desde el suelo hasta la cima de la copa de cada individuo.

***Procesamiento de la Información***

*Estructura*

Los árboles de *F. soatensis* se distribuyeron en seis clases diamétricas de acuerdo a su DAP: I. 2,2 – 12,1cm, II.12,2 – 22,1cm, III.22,2 – 32 cm, IV. 33 – 41,9cm, V. 42– 51,8cm y VI > 52,8cm; y en cinco clases para el caso del *T. stans*, I. 1,3 - 6,5cm, II. 6,6 -11,6cm, III.11,7-16,8cm, IV.16,9 – 22cm,V > 22,1 cm, de acuerdo con la metodología de Sturges (1926), con intervalos de amplitud de cada 9,9 y 5,2 cm respectivamente. También se utilizó la clasificación sugerida por Rangel & Velásquez (1997) para estudiar la distribución vertical de la vegetación, con los siguientes intervalos de altura: Arbustivo (ar): 1.5-5 m; subárboreo (Ar): 5.1-12 m; arbóreo inferior (Ai): 12.1-25 m y arbóreo superior (As): >25m.

*Parámetros usados*

Se incluyó la densidad de la madera $\rho$, definida como la razón entre el peso de la madera anhidra y el volumen en estado verde. Se calculó $\rho$ para la especie *T. stans* en el Laboratorio de Maderas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, para ello se tomaron muestras de tronco entre 5 y 10 $cm^3$, a 1.3 m del suelo y para extraerlas se utilizó un taladro pressler, manteniendo en lo posible la misma altura. Estas se pesaron en campo usando una balanza de precisión (0,01 g), se envolvieron en papel periódico, se etiquetaron, se preservaron en alcohol etílico al 70%, y se almacenaron en bolsas plásticas para el transporte al laboratorio. Posteriormente, las muestras se secaron en el horno a 105°C hasta peso constante para obtener la masa anhidra (seca) y se pesaron en una balanza electrónica de precisión 0,01 g. El valor de la densidad de la madera del *F. soatensis* fue proporcionado por el Laboratorio de Maderas de la Universidad Distrital.

*Ecuaciones alométricas*

Para efectos del estudio, se estimó la biomasa aérea de árboles ≥ 2,5cm DAP mediante siete modelos alométricos sugeridos en la literatura, que se usan comúnmente en investigaciones (Modelos 1-7 en la Tabla 1); dichos modelos evalúan la biomasa en ocupación de variables de práctica medición como diámetro (DAP), altura total del árbol (ht), altura comercial o del fuste (hf) y peso específico ($\rho i$) de la madera. Se usaron cuatro tipos de ecuaciones que son:

En función del DAP (modelos 1-2 y 6), en función del DAP y la altura (modelo 3), en función del DAP, altura y la densidad de la madera (modelos 4 y 5),en función de la densidad de la madera y el DAP (modelo 7). Si bien es cierto que en Colombia recientemente se han sugerido modelos para bosques naturales (Álvarez, Duque, Del Valle, Moreno & Saldarriaga, 2012), en esta investigación no se tomaron en cuenta por ser los análisis realizados en especies plantadas en zona urbana, en condiciones diferentes a las naturales. Además, el cálculo de la biomasa pretende en una próxima investigación, estimar el carbono retenido por estas especies en las condiciones particulares en que se encuentran establecidas.

**Tabla 1.** *Modelos alométricos empleados para estimar la biomasa aérea de árboles con DAP ≥2.5 de las especies Ficus soatensis y Tecoma stans en la localidad de Puente Aranda, Bogotá D.C.*

| Autor | Modelo |
|---|---|
| 1. IPCC, 2005 | $B = e^{[-2.298+2.649*Ln(DAP)-0.021*Ln(DAP^2)]}$ |
| 2. Chave et al., 2001 | $LnB = [-2.19 + 2.54 * Ln(DAP)]$ |
| 3. Rodríguez, 1989 | $Peso\ seco\ madera\ tallo = 7.54908 + 0.01753 * DAP^2 * hf + 0.10827 * 10 - 19 * DAP^2 * ht$ |
| | $Peso\ seco\ corteza\ tallo = 0.98155 + 0.00229 * (DAP^2 * ht)$ |
| | $Peso\ seco\ madera\ rama = 18.54992 - (0.29015 * 10 - 3) * (DAP^2 * hf)$ |
| | $Peso\ seco\ corteza\ rama = 5.09423 + 0.27629 * 10 - 7 * hthhh$ |
| | $Peso\ seco\ madera\ ramilla = -2.09893 + 0.5409 * DAP - 0.0357 * ht$ |
| | $Peso\ seco\ corteza\ ramilla = -0.375 + 0.0012 * (DAP^2 * ht)$ |
| | $Peso\ seco\ hojas = 0.53331 + 0.00103 * (DAP^2 * ht)$ |
| | $B = B_{tallo} + B_{ramas} + B_{corteza} + B_{hojas}$ |
| 4. Brown,1997 | $B = VT * \rho i * FEB$ |
| 5. Chave *et. al.*, 2005 | $B = e^{[-2.557+0.94*Ln(\rho i*DAP^2*ht)]}$ |
| 6. Brown, 1997 | $B = 21{,}297 - 6{,}953 * DAP + 0{,}740 * DAP^2$ |
| 7. Chave *et. al.*, 2005 | $B = \rho i * e^{[-1.239+1.98*LnDAP+0.207*LnDAP^2-0.0281*LnDAP^3)]}$ |

Convenciones: B: biomasa; DAP: diámetro a la altura del pecho (1.30m); ht: altura total; hf: altura comercial; peso específico de la madera (g/cm$^3$), VT: volumen del tronco (m$^3$/ha); FEB: factor de expansión de biomasa; Ln: logaritmo neperiano.

***Análisis de Datos***

Se realizaron distribuciones de frecuencia y se calcularon estadísticos descriptivos de las variables estructurales: Densidad (número de individuos), área basal, altura y de la biomasa en cada especie, a nivel general y por clase diamétrica con el fin de evaluar la distribución de la vegetación y la variación de la biomasa en las especies del estudio en la localidad de Puente Aranda. Se experimentaron los supuestos de normalidad mediante las pruebas de Kolmogorov– Smirnov y ShapiroWilk los cuales se fundan en la máxima diferencia entre la distribución acumulada de la muestra y la distribución acumulada hipotética.

Para valorar la predicción que cada modelo hace de los resultados de los otros modelos empleados para la estimación de la biomasa, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (R), tomando como referencia el estudio de Chavé *et al*. (2003), de tal modo que se logre seleccionar el modelo que presenta la mayor correlación media con los otros modelos que se están comparando. El coeficiente de correlación de Spearman es una medida de asociación entre dos variables aleatorias continuas. Se calcula mediante la ecuación 2:

$$r_{s_{yr_{s(x,y)}}} = 1 - 6\frac{\sum D^2}{nn(n^2-1)} \quad (2)$$

En donde, D es la diferencia entre los estadísticos de orden de las dos variables a comparar (x-y) y n es el número de parejas.

Con el fin de evaluar las diferencias significativas de las variables estructurales a saber: Altura, DAP y biomasa, en las dos especies del estudio y por clase diamétrica, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis que es un análisis de varianza por una vía no paramétrica y comparaciones múltiples. (Ver Anexo, Figuras 8 a 13). Dicha prueba se utilizó para contrastar la hipótesis Ho: Las muestras de cada especie han sido obtenidas de la misma población o de poblaciones con medianas iguales; para este resultado se asignan condiciones a las observaciones, suma estas condiciones separadamente para cada grupo y las coteja calculando el estadístico H a través del cálculo de la ecuación 3:

$$H = \frac{12}{n(n-1)} \sum_{j=1}^{j} \frac{R_j^2}{n_j} - 3(n+1) \qquad (3)$$

En donde, H es el valor estadístico de la prueba Kruskal-Wallis, n es el tamaño total de la muestra, $R^2j$ es la sumatoria de los rangos elevados al cuadrado, nj es el tamaño de la muestra de cada grupo, j son las muestras aleatorias.

El estadístico H calculado se confronta con valores críticos de distribución ji cuadrado con J-1 grados de libertad. Si la hipótesis nula es segura y las condiciones se han extraído de la misma población o de poblaciones con medianas idénticas y todas las muestras tienen puntuaciones de cinco o más, entonces la distribución muestral de H es una aproximación muy cercana de la distribución ji cuadrado. Si las poblaciones no son diferentes una de la otra, se espera que las sumas de sus condiciones sean aproximadamente las mismas. Una vez que se ha rechazado la hipótesis nula con la prueba de Kruskal Wallis, y se acepta que al menos una de las j muestras no pertenece a la misma población, se desea saber cuál de las j muestras tiene una mediana diferente de las restantes; para esto se realizaron las balances múltiples en las cuales se contrastan los rangos medios de todos los pares de grupos mediante el cálculo del estadístico Z' para cada comparación entre los grupos de variaciones diamétricas, y se obtiene un valor p asociado con cada comparación, p es la probabilidad asociada con Z' (Sieguel & Castellan, 1988).

Para saber entre cuales de las variaciones diamétricas existe diferencia significativa, se realizó una prueba adicional llamada prueba de Dunn, aplicando los pasos mostrados en las ecuaciones 4 y 5.

$$Hallamos\ \propto = \frac{\propto}{K(K-1)}\ Donde\ K\ es\ el\ número\ de\ variaciones\ diamétricas \qquad (4)$$

Luego se determinó del valor de $Z_{1-\alpha}$ para cada uno de los casos y finalmente se determinó de la variación teórica con la ecuación 5.

$$\Delta_{ij} = Z_{1-\propto}\sqrt{\frac{N(N+1)}{12}\left(\frac{1}{n_i}+\frac{1}{n_j}\right)} \qquad (5)$$

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS Statistics 2011.

## Resultados

### Estimación de la Biomasa

Al realizar el análisis estadístico de la distribución normal para los siete modelos utilizados para la estimación de Biomasa Aérea se plantearon las siguientes hipótesis: Hipótesis Nula $H_o$: Los datos obtenidos del modelo utilizado para la estimación de biomasa aérea provienen de una distribución normal. Hipótesis Alterna $H_1$: Los datos obtenidos del modelo utilizado para la estimación de biomasa aérea *no* provienen de una distribución normal.

Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra y encontrándose que los grados de libertad son mayores a 30, se utilizó como prueba de normalidad la de Kolmogorov-Smirnov, encontrando que los valores de Sig para *F. soatensis* (0,000) y de *T. stans* (0,000) son inferiores que el nivel de significancia del estudio de 0,05, se rechaza la Hipótesis Nula y

por tanto se puede concluir que tanto en la especie *F. soatensis* como en la especie *T. stans*, los datos obtenidos de los diferentes modelos utilizados para la estimación de biomasa aérea no provienen de una distribución normal (Ver Anexo; Figuras 1 a 7).

**Estimación de la biomasa por clase diamétrica y por especie**

Las estimaciones realizadas según los diferentes modelos, presentaron diferencias que se corroboraron mediante la prueba de Kruskal-Wallis, las cuales se hicieron con relación a las clases diamétricas y por especie, lo que da como resultado que las muestras analizadas provienen de poblaciones con medianas diferentes; para encontrar la procedencia de las diferencias significativas, se realizó la prueba Dunn a cada una de las comparaciones realizadas en las clases diamétricas vs la altura al fuste, el DAP y el promedio de la Biomasa de cada una de las especies. Se plantearon las siguientes hipótesis: $H_o$: Las muestras de cada variación diamétrica han sido obtenidas de la misma población ó de poblaciones con medianas iguales. $H_a$: Las muestras de cada variación diamétrica han sido obtenidas de distinta población ó de poblaciones con medianas diferentes. El estadístico de contraste, mostró que el p =0,000 es menor al 5% por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medianas de altura, es decir todas las muestras provienen de diferentes poblaciones con relación a la altura.

Se realizaron las ecuaciones de Dunn, se cálculan las diferencias teóricas resumidas en las tablas de diferencias teóricas de cada caso (Tablas 2 y 3) . Por otra parte, se calcularon las diferencias observadas de los rangos obtenidos en la prueba de Kruskal-Wallis; así entonces, si en valor absoluto es mayor que el dato calculado en la variación teórica, entonces existe una diferencia significativa entre las variaciones diamétricas. Matemáticamente se plantea de la siguiente forma:

$$Si\ Si\ |\bar{R}_i - \bar{R}_j| > \Delta_{ij}\ entonces\ la\ diferencia\ es\ significativa.$$

Para esto se plantean las diferencias significativas entre las variaciones diamétricas y las variables a contrastar en cada caso. Se obtuvieron los rangos promedio de altura la fuste, los promedios de DAP y los promedios de biomasa para las especies *F. soatensis* y *T. stans* y se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medianas ya que p = 0,00 es menor al 5% por lo tanto todas las muestras provienen de diferentes poblaciones con relación a la altura, al DAP y al valor calculado de biomasa. Para evidenciar las diferencias significativas entre las variaciones diamétricas con respecto a las variables, altura, DAP y biomasa ver Figuras 13 a 18 del Anexo.

**Distribución de biomasa en las diferentes especies**

En las Figuras 1 y 2 se muestra la distribución de la biomasa en cada clase diamétrica para *F. soatensis* y *T. stans* con cada uno de los siete modelos citados en literatura y el modelo de estimación de esta investigación.

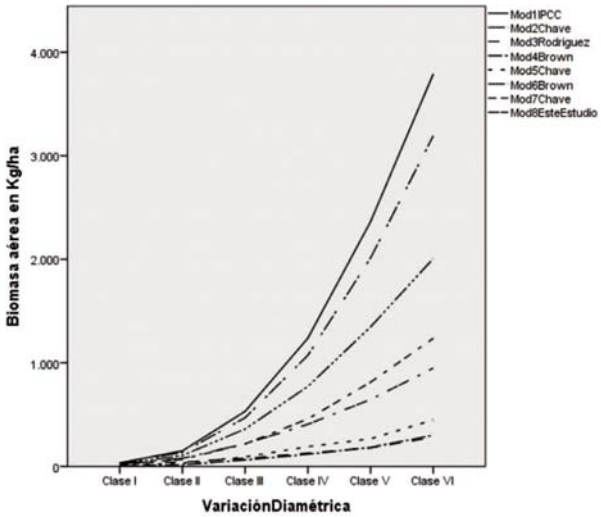


**Figura 1.** Distribución de Biomasa Aérea (kg.ha-1) por clase diamétrica (cm) usando los siete modelos alométricos para la especie *Ficus soatensis*

**Tabla 2.** *Rangos de Clase diamétrica de la especie F. soatensis*

| Clase Diamétrica | Mínimo –Máximo (cm) |
|---|---|
| Clase1 | entre 0,022 y 0,121 |
| Clase2 | entre 0,122 y 0,221 |
| Clase3 | entre 0,222 y 0,320 |
| Clase4 | entre 0,321 y 0,419 |
| Clase 5 | entre 0,420 y 0,519 |
| Clase6 | mayores a 0,519 |

Con relación a la Biomasa de la especie *F. soatensis*, en la Figura 1 se observa que los modelos 1, 2 y 6 presentan mayores estimaciones de biomasa y a su vez la amplitud de la variación fue mayor con relación a los demás modelos. Los modelos 3, 4 y 5 presentaron el menor valor de biomasa y fueron similares entre sí. Los modelos 6 y 7 obtuvieron valores medios, el modelo 8 de este estudio se asemeja a los resultados del modelo 7.

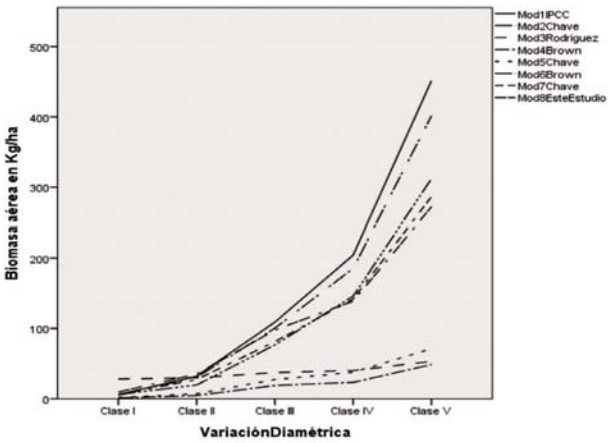


**Figura 2.** Distribución de Biomasa Aérea (kg ha$^{-1}$) por clase diamétrica (cm) usando los siete modelos alométricos para la especie *Tecoma stans*

**Tabla 3.** *Rangos de Clase diamétrica de la especie T.stans*

| Clase Diamétrica | Mínimo - Máximo |
|---|---|
| Clase1 | entre 0,013 y 0,064 |
| Clase2 | entre 0,065 y 0,116 |
| Clase3 | entre 0,117 y 0,168 |
| Clase4 | entre 0,169 y 0,220 |
| Clase5 | mayores a 0,221 |

Con relación a la biomasa de la especie *T. stans*, en la Figura 2 se observa que los modelos 1, 2, 6 y 7 presentan mayores estimaciones de biomasa y a su vez la amplitud de la variación fue mayor con relación a los demás modelos. El modelo 4 presentó el menor valor de biomasa. Los modelos 3 y 5 obtuvieron valores medios y fueron similares entre sí. El modelo 8 de esta investigación se asemeja a los resultados de los modelos 6 y 7.

Para estimar el total de la biomasa para las dos especies *F. soatensis* y *T. stans* en la localidad de Puente Aranda, fue necesario determinar intervalos de confianza del 100 (1-$\alpha$) % para la media y el total poblacional con el 95% de confianza propuesto por Ospina (2001).

A partir de los resultados obtenidos en las estimaciones de biomasa (Tabla 4) para el caso del modelo 1 (IPCC, 2005), la biomasa total entre *F. soatensis* y *T. stans* en la localidad de Puente Aranda se encuentra entre 438,3 kg ha$^{-1}$ y 585 kg ha$^{-1}$. En el modelo 2 (Chave *et.al., 2001*) la biomasa correspondiente oscila entre 384,5 kg ha$^{-1}$ y 509,1 kg ha$^{-1}$. En el modelo 3 (Rodríguez,1989)

la biomasa se encuentra entre 81,6 kg ha$^{-1}$ y 91,7 kg ha$^{-1}$, en el caso del modelo 4 (Brown,1997) la biomasa total oscila entre 50,7 kg ha$^{-1}$ y 64,9 kg ha$^{-1}$, en el modelo 5 (Chave, Riera & Dubois *,2005*) la biomasa se encuentra entre 88,2 kg ha$^{-1}$ y 69,9 kg ha$^{-1}$, el modelo 6 (Brown, 1997) la biomasa se encuentra entre 358 kg ha$^{-1}$ y 276,2 kg ha$^{-1}$, el modelo 7 (Chave, Riera & Dubois*, 2005*) oscila entre 235,4 kg ha$^{-1}$ y 184,7 kg ha$^{-1}$, en el caso del modelo generado en esta investigación, la biomasa oscila entre 220,2 kg ha$^{-1}$ y 179,7 kg ha$^{-1}$. De esta manera, se puede observar que los datos más altos de biomasa se dan aplicando los modelos 1, 2 y 6, mientras que los que registran menores valores de biomasa son los modelos 3, 4 y 5; el modelo 7 y el modelo 8 de este estudio presentan estimaciones intermedias, con respecto a los demás modelos.

**Tabla 4.** *Valores de intervalos de confianza al 95% para el cálculo de biomasa en la localidad de Puente Aranda para las especies Ficus soatensis y Tecoma stans*

| Modelo | Biomasa (kg ha-$^{1}$ ) | Biomasa (t ha-$^{1}$) |
|---|---|---|
| 1. IPCC, 2005 | 438,3; 585 | 0,438;0,585 |
| 2. Chave, Riéra, & Dubois, 2001 | 384,5; 509,1 | 0,348;0,509 |
| 3. Rodriguez, 1989 | 81,6; 91,7 | 0,082;0,092 |
| 4. Brown,1997 | 50,7; 64,9 | 0,051;0,065 |
| 5. Chave *et ál.,* 2005 | 69,9;88,2 | 0,070;0,088 |
| 6. Brown, 1997 | 276,2;358; | 0,276;0,358 |
| 7. Chave *et ál.,* 2005 | 184,7;235,4; | 0,184;0,235 |
| 8.Este estudio | 179,7;220,2 | 0,179;0,220 |

Con el fin de observar el comportamiento del cálculo de Biomasa por especie y la variación diamétrica con respecto a los siete modelos matemáticos en estudio, se elaboraron diagramas de cajas y bigotes (Ver Figuras 14 a 24 del Anexo).

En cuanto al análisis de la correlación de Sperman realizado para los siete modelos propuestos en la literatura, se plantearon las siguientes Hipótesis:

$H_o$: No existe correlación entre los siete modelos para el cálculo de la Biomasa aérea en las especies *F. soatensis* y *T. stans*.

$H_a$: Existe correlación entre los siete modelos para el cálculo de la Biomasa aérea en las especies F. sotensis y *T. stans*.

Se rechaza la hipótesis nula puesto que el valor de Sig. (bilateral) es menor a 0,05, es decir, si existe correlación entre los modelos desarrollados para el cálculo de biomasa aérea.

De acuerdo con la correlación de Sperman, es evidente observar que existe una muy buena correlación en los modelos de estimación. Las correlaciones entre los valores de biomasa

estimados por los diferentes modelos fueron significativas ($r^2$> 0,90). Estas correlaciones altas encontradas entre los resultados de los modelos pueden ser indicio de que todos los modelos usan la misma aproximación, provienen de una misma forma y son ajustados para cada caso. Por esta razón, se requiere de otro tipo de modelos que se puedan calibrar y comparar con las metodologías tradicionales con el fin de obtener las estimaciones más precisas.

**Modelo alométrico de este estudio para cálculo de biomasa aérea**

Una vez obtenidos los datos de biomasa aérea total a partir del DAP, altura del fuste, altura total y densidad, se ajustó la ecuación 6, en su expresión logarítmica, con el fin de determinar un modelo de estimación de Biomasa aérea de los arboles

$$B = DAP^{\beta_0} AF^{\beta_1} \rho^{\beta_2} \rightarrow Ec.1 \qquad (6)$$

De la ecuación 6, se tienen las siguientes variables: Variable dependiente: B= Biomasa del árbolVariables independientes: DAP=Diámetro de altura al pecho, AF=Altura del Fuste, $\rho$=Densidad específica de la madera.

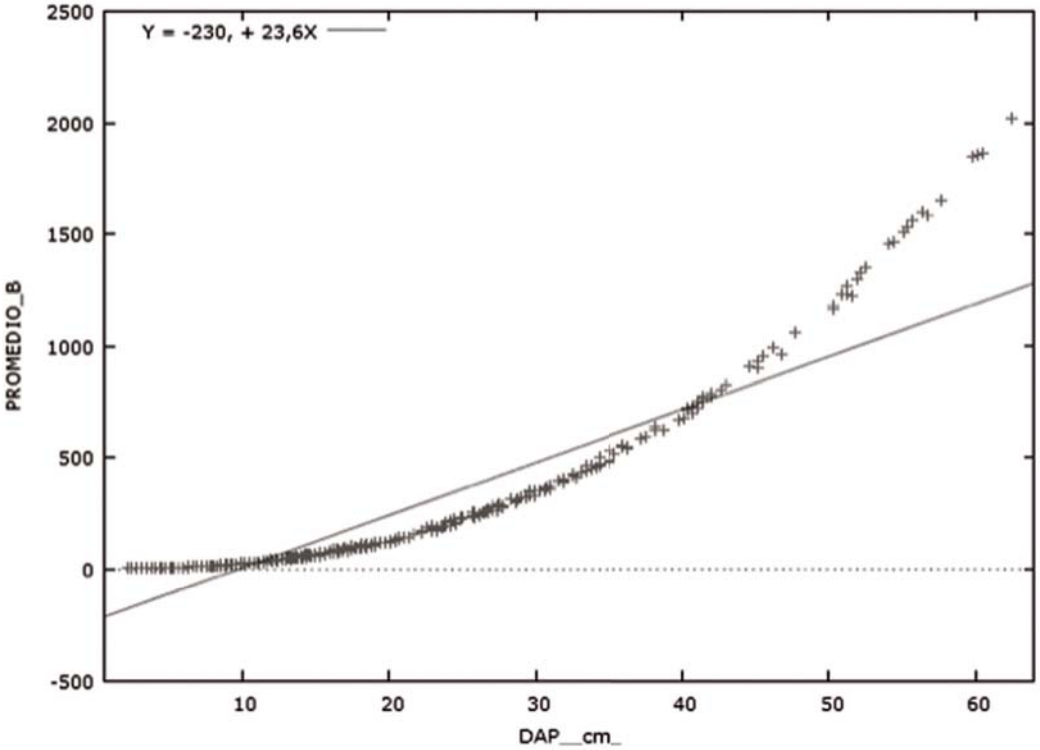


**Figura 3.** Promedio de la Biomasa (kg.ha-1) con respecto al DAP (cm)

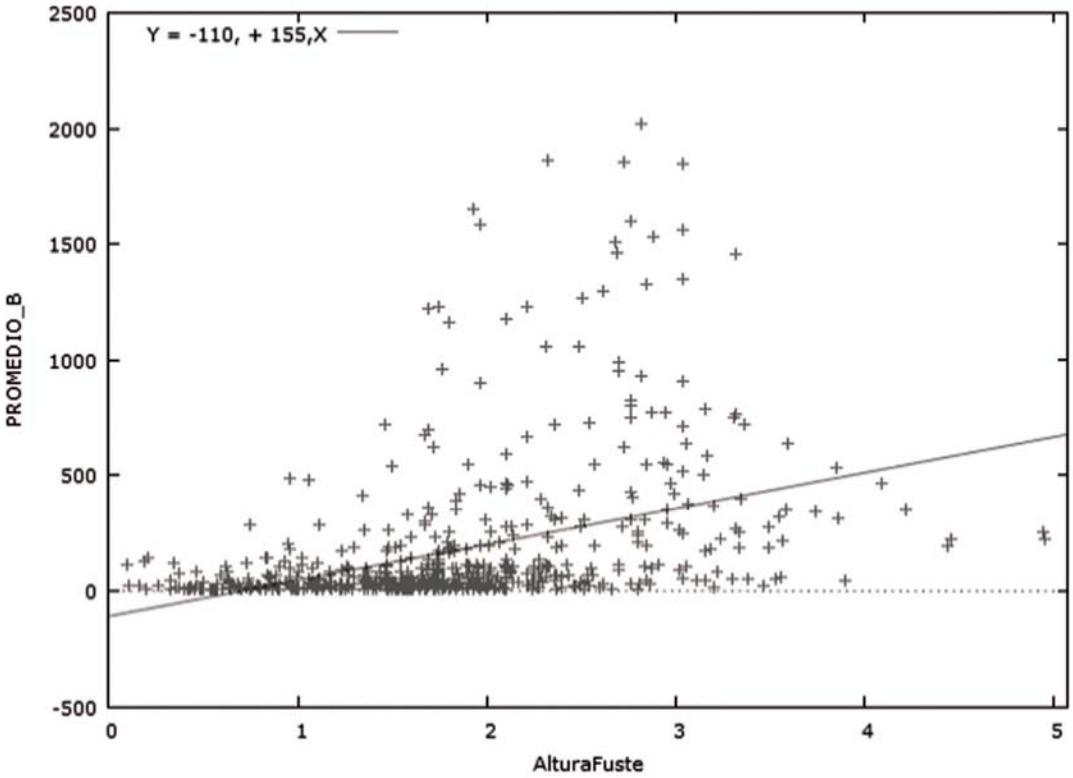


**Figura 4.** Promedio de la Biomasa (kg.ha$^{-1}$) con respecto a la Altura al Fuste (m)

La expresión de la ecuación (6), en su forma lineal, mediante transformación logarítmica da la ecuación 7:

$$\mathrm{Ln}\ (\mathrm{B}) = \beta_0 \mathrm{Ln}(\mathrm{DAP}) + \beta_1 \mathrm{Ln}(\mathrm{AF}) + \beta_2 \mathrm{Ln}(\rho) \rightarrow \mathrm{Ec.}\,2 \qquad (7)$$

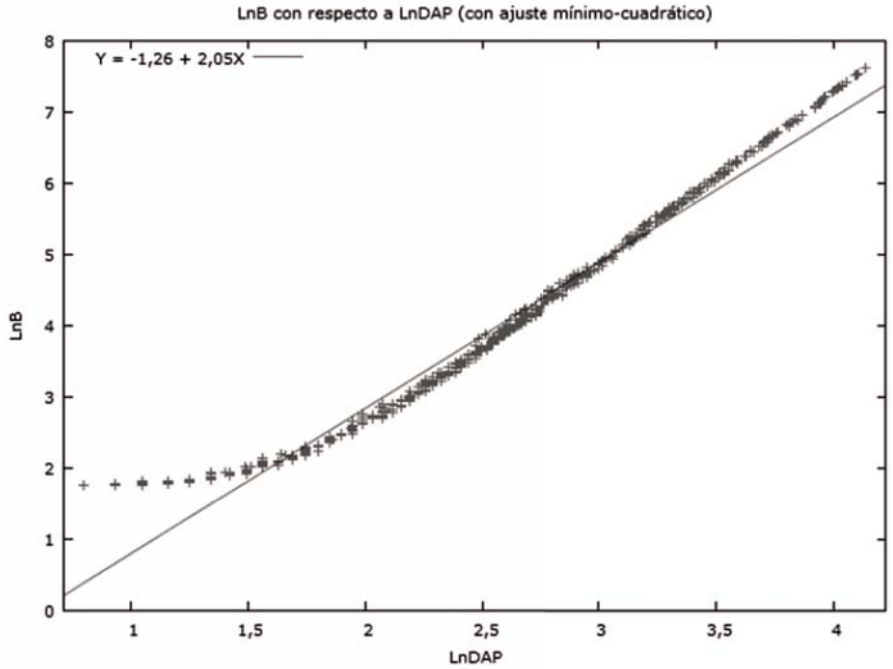


**Figura 5.** Ln (Promedio de la Biomasa (kg ha-1)) con respecto al Ln (DAP (cm))

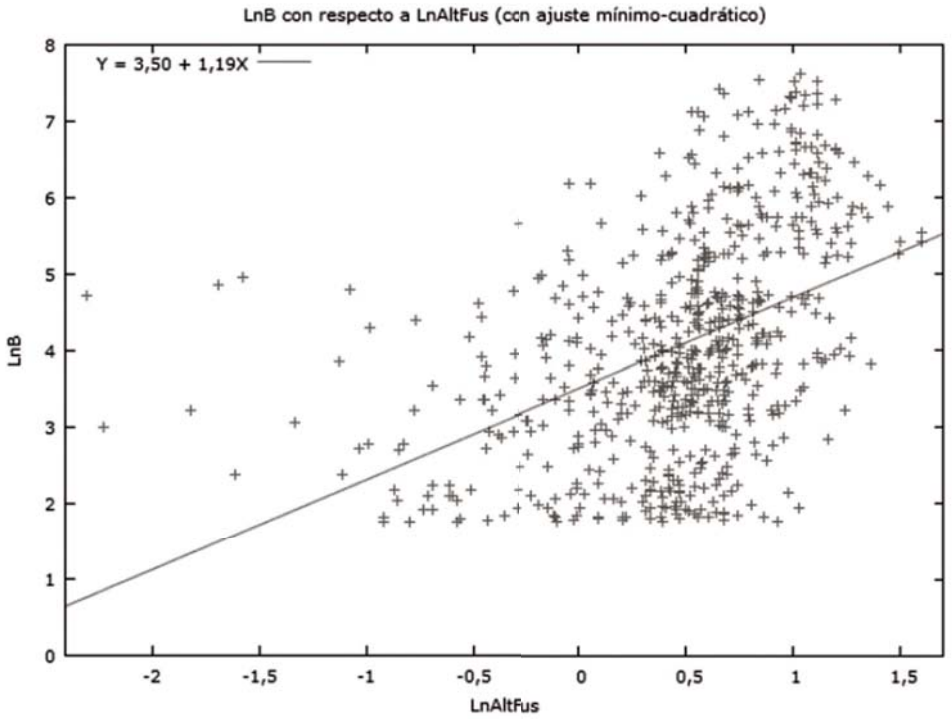


**Figura 6.** Ln (Promedio de la Biomasa (kg/ha$^{-1}$)) con respecto al Ln (Altura al Fuste (m))

Es importante resaltar que el modelo inicial tuvo en cuenta la variable Altura Total, la cual fue eliminada por no ser significativa.

Por otra parte, se realizaron las pruebas de normalidad de los errores y de colinealidad de las variables, test de ajuste que ofrece el programa GRETL (Cotrell & Lucchetti, 2013) los cuales permiten medir la confiabiabilidad del modelo alométrico. Una vez realizada la regresión por Minimos Cuadrados Ordinarios – MCO con las variables significativas antes mencionadas, se encontró la información de la Tabla 5.

**Tabla 5.** *Descripción de las variables significativas MCO*

| | Coeficiente | Desv. Típica | Estadístico t | Valor p |
|---|---|---|---|---|
| LnDAP | 1, 90121 | 0, 0161468 | 117, 7 | 0, 0000*** |
| LnAltFus | 0, 266478 | 0, 0229987 | 11, 59 | 2, 37e-028*** |
| LnDensidad | 1, 12221 | 0, 0483150 | 23, 23 | 2, 35e-087*** |

| Media de la vble. Dep | 4, 046380 | D.T. de la vble. Dep | 1, 447297 |
|---|---|---|---|
| Suma de cuad. residuos | 55, 12616 | D.T. de la regresión | 0, 291221 |
| R-cuadrado | 0, 995428 | R -cuadrado corregido | 0, 995414 |
| F (3, 650) | 47173, 54 | Valor p. (de F) | 0, 000000 |
| Log-verosimilitud | -119, 4743 | Criterio de Akaike | 244, 9486 |
| Criterio de Schwarz | 258, 3933 | Crit. deHannnan-Quinn | 250, 1624 |

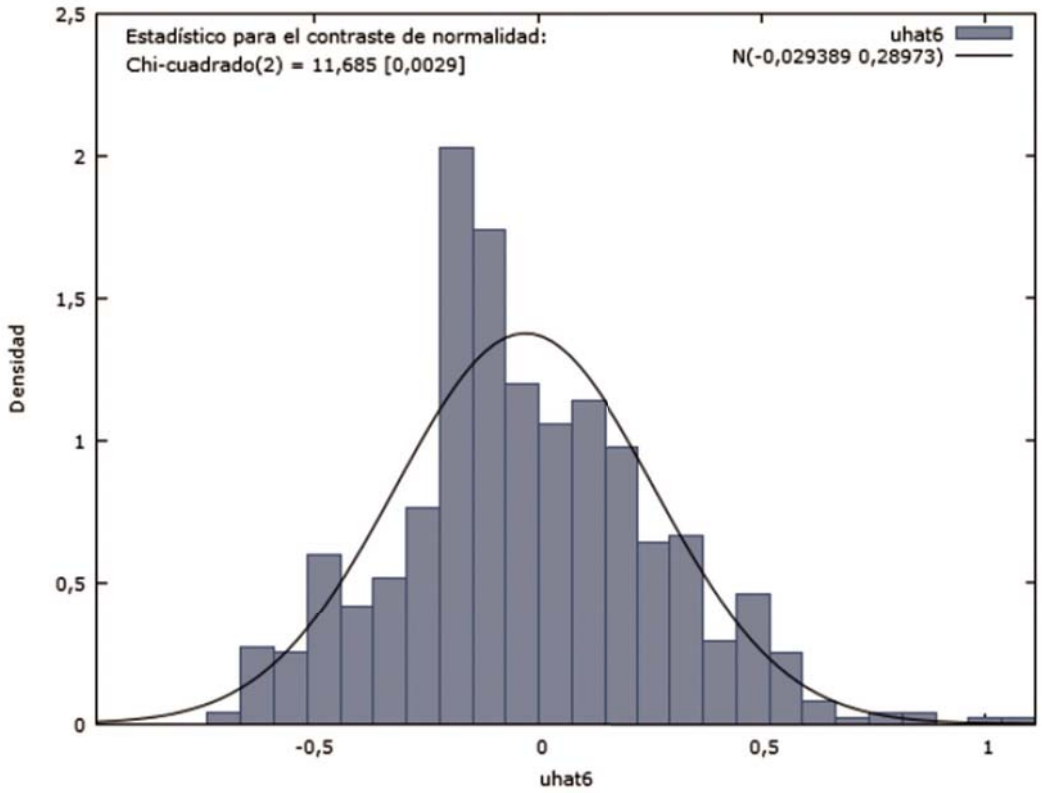


**Figura 7.** Cumplimiento del supuestos de normalidad en los errores – MCO. Ver anexo Tabla 1 Normalidad en los errores

Como se observa en la Tabla 6, el test de revisión de colinealidad que determina Grelt, muestra que los factores de inflación de la varianza, según cada variable, son menores a 10, lo cual es el rango permitido. Así, se concluye que no hay presencia de colinealidad (Gujarati, 2010).

**Tabla 6.** *Presencia de colinealidad del modelo*

| Factores de inflación de varianza (VIF) | |
|---|---|
| Mínimo valor posible = 1.0 | |
| Valores mayores que 10. 0 pueden indicar un problema de colinealidad | |
| LnDAP | 1, 263 |
| LnAltFus | 1, 3822 |
| LnDensidad | 1, 281 |
| VIF (j) = 1/1 - R (j) ^ 2), en donde R (j) es el coeficiente de correlación múltiple entre la variable j y las demás variables independientes | |
| Propiedades de la matriz X´X: | |
| norma -1 = 7088, 2713 | |
| Determinante = 27664411 | |
| Número de condición recíproca = 0, 0037788556 | |

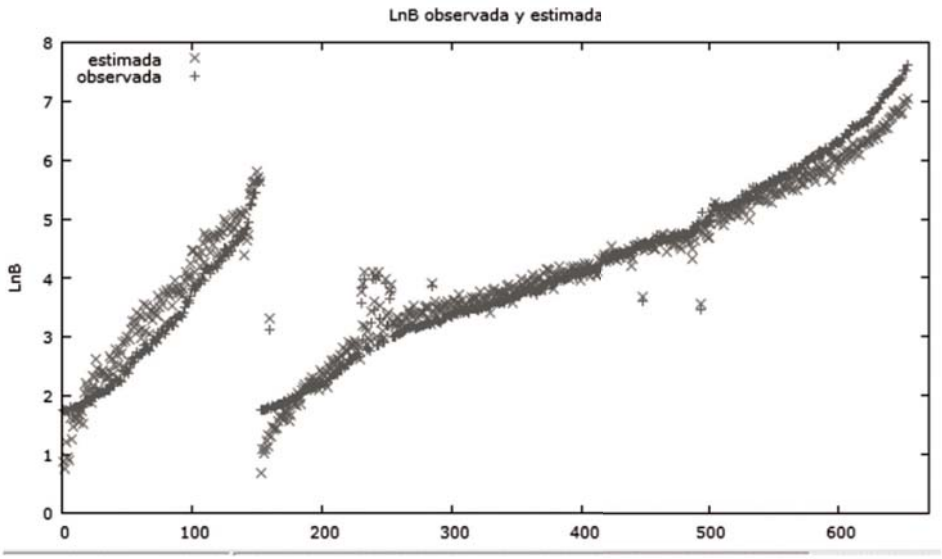


**Figura 8.** Dato Biomasa Observado y estimado según el MCO

El modelo final que describe el cálculo de biomasa del árbol se muestra en la ecuación 8:

$$\mathbf{Ln\,(B) = 1,90121Ln(DAP) + 0,266478Ln(AF) + 1,12221}\boldsymbol{Ln(\rho)} \rightarrow \boldsymbol{Ec.3} \qquad (8)$$

De esta manera, la ecuación 8 se constituye en el modelo alométrico que predice la biomasa aérea y es la propuesta elaborada en esta investigación como modelo para calcular la biomasa.

## Discusión y Conclusiones

Los estudios de biomasa son importantes porque enseñan la distribución de la materia orgánica en el sistema y se han usado con diferentes propósitos como: estimación de contenido de carbono en los bosques (Brown, Guillespie & Lugo, 1989). De acuerdo con el censo del arbolado urbano realizado por el Jardín Botánico José Celestino Mutis, en la localidad de Puente Aranda, *F. soatensis* en su biomasa aérea obtuvo 58,48t $ha^{-1}$, y 29,274 t $ha^{-1}$ de Carbono y *T. stans* 4,772 t $ha^{-1}$ en biomasa aérea y 2,386 t $ha^{-1}$ de Carbono. Los datos de biomasa se calcularon a través del modelo empleado por la FAO desarrollado por Brown (1997) BT =FEB*V*DB, (modelo que se empleó dentro de este estudio y corresponde al modelo 4); de otra parte, el Carbono fue calculado hallando el 50% de la biomasa (Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2007). Teniendo en cuenta que la localidad de Puente Aranda tiene un área total de 1724,28 ha, dentro de las cuales se encuentran sembrados 1809 individuos de *F. soatensis* y 1092 de *T. stans*, se concluye que no alcanza a existir un árbol de cada especie por hectárea, de este modo es difícil tener certeza de la información suministrada por el Jardín Botánico, ya que se reporta en t/ha, y se debe tener en cuenta esta relación.

La mayoría de los modelos utilizan el DAP como variable estimadora de la biomasa; sin embargo, en la literatura se ha resaltado la importancia de incorporar también en los modelos, la altura y la densidad específica de la madera; con la expectativa de que permitan estimar con mayor precisión la biomasa.

Se observó la variación de las reservas de biomasa en las especies *F. soatensis* y T.*stans* de la localidad de Puente Aranda, la cual está relacionada con la talla de los individuos y su edad.

La biomasa total de las dos especies en la localidad varió entre 233,56 y 254,83 kg $ha^{-1}$ con un 95% de confianza; fue menor en *T. stans*, en la cual osciló entre 27,3 y 31,76 kg $ha^{-1}$, y mayor en *F. soatensis* con valores entre 183,38 y 245,95 kg $ha^{-1}$. Con estos resultados se concluye que la cantidad de biomasa, y por tanto, de carbono almacenado por estas dos especies es muy baja, infiriendo que estas especies no son grandes almacenadoras de carbono debido a su porte medio y su lento crecimiento.

La especie *F. soatensis* concentra su mayor cantidad de biomasa en la clase diamétrica VI, en la cual se encuentran árboles de estratos subárboreo y arbóreo inferior, mientras que *T. stans* almacena la mayor cantidad de biomasa en la clase diamétrica V, donde presentan predominancia el estrato subárboreo y algunos arbustivos.

La poca cantidad de árboles de gran porte de *T. stans* es una razón para que se presenten valores más altos de las reservas de biomasa en el *F. soatensis*. Se infiere que ante la ausencia de árboles grandes, esta biomasa se podría suplir con la biomasa en estratos inferiores.

En la distribución de biomasa, las clases diamétricas y las alturas inferiores juegan un papel fundamental en el almacenamiento de carbono debido al alto número de individuos existentes en fase de crecimiento.

Los resultados de esta investigación serán de gran utilidad como referencia para la ciudad de Bogotá, la cual no cuenta con estudios de biomasa en sus plantaciones forestales urbanas y los datos reportados en el Plan Local de Arborización Urbana de Puente Aranda difieren de gran manera con los resultados obtenidos en esta investigación.

Se desarrolló un modelo alométrico por mínimos cuadrados ordinarios MCO que toma como variables independientes, el DAP, la altura al fuste y la densidad específica de la madera, con $r^2$ de 0,99. Este modelo es aplicable para la evaluación y cálculo de biomasa aérea en plantaciones forestales de las especies *F. soatensis* y *T. stans*.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al laboratorio de maderas de la Universidad Francisco José de Caldas por su colaboración, en especial a Oscar Romero.

## Literatura Citada


1. Álvarez E., Duque A., del Valle J.I., Moreno F. & Saldarriaga J. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and management. Volume 267*, 1 March 2012, Pages 297–308.
2. Alves, L. F., Vieira, S., Scaranello, M. A., Camargo, P. B., Santos, F. A., Joly, C., *et al.* (2010). Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). *Forest Ecology and Managment. 260 (*5), 279-291
3. Anaya, J., Chuvieco, E., & Palacios, A. (2008). Estimación de biomasa aérea en Colombia a partir de imágenes MODIS. *Revista de Teledetección, 30*, 5-22.
4. Anzola, A. & Rodriguez, J. (2001). Estimación preliminar de biomasa en ecositemas boscosos de Colombia. (Tesis de pregrado) Ingenieria forestal. Bogotá Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
5. Bonham, C. (1990). Measurements for terrestrial vegetation. *Soil Science. 150* (1)483.
6. Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests; a Primer Food and Agriculture Organization. *FAO Forestry Paper, 134*, 1-55.
7. Brown, S., Guillespie, A., & Lugo, A. (1989). Biomass Estimation Methods for Tropical Forest with Applications to forest Inventory Data, *Forest Science, 35* (4),881 – 902.
8. Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., *et al.* (2005). Tree Allometry and

improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia. 145* (1), 87-99.

**9.** Chavé, J; Condit, R; Lao, S; Caspersen, JP; Foster, RB & Hubbell, SP. (2003). Spatial and temporal variation in biomass of a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology*, 91, 240-252.

**10.** Chave, J., Riéra, B., & Dubois, M. A. (2001). Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology, 17* (1), 79-96.

**11.** Clark, D., & Clark, D. (2000). Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. Foest Ecology and Managment, 137 (1-3),185-198.

**12.** Cotrell, W & Lucchetti, R. (2013). Software Gretl 1.9.12. North Carolina: Allin Cottrell and Riccardo "Jack" Lucchetti. Recuperado de: http://gretl.sourceforge.net/

**13.** De las Salas, G. (1987). Suelos y Ecosistemas Forestales;con énfasis en América Tropical. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. 450 p.

**14.** Duarte, C .,Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A.,Simó, R., & Valladares, F. (2006). Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.166p

**15.** Golley, F. B. (1983). Ecosystems of the world.14 A. Tropical Forest Ecosystems Structure and Function. Athens, EE.UU: Golley, FB. 381p.

**16.** Gore, A. (2007). Una verdad incomoda: La crisis planetaria del calentamiento global y cómo afrontarla. Barcelona: Gedisa Editorial. 325p. Gujarati, D. (2010). Econometría. New York: McGraw Hill. 921 p.

**17.** Holdridge, L. (1987). Ecología Basada en Zonas de Vida. Life zones ecology. San José Costa Rica: Libros y Materiales Educativos. IICA. 216 p

**18.** Instituto de Estudios Urbanos IEU. (2011). Clima Bogotá. Recuperado de: http://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0116-clima/index.htm

**19.** IPCC. (1996).Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático. . Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático. 92p

**20.** IPCC.(2005). Carbon Dioxide Capture and Storage, Special Report of theIntergovernamental Panel On Climate Change. UK : Cambridge University Press.431 p.

**21.** IPCC. (2007). Cambio climático, Informe de síntesis Informedel Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.104 p.

**22.** Jardín Botánico José Celestino Mutis. (2007). Plan Local de Arborización Urbana- Localidad de Puente Aranda. Bogotá D. C: Jardín Botánico José Celestino Mutis. 140 p.

**23.** Laumonier, Y., Edin, A., Kanninen, M., & Munandar, A. W. (2010). Landscape variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forest of Sumatra Implications for carbon stock assessments. Forest *Ecology and Managment, 259* (3), 505-513.

**24.** Modi, V. (2005). Improving electricity services in rural India. CGSD Working .30

**25.** Observatorio Ambiental de Bogotá. (2012) Recuperado de: http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=l&id=156&v=l#

**26.** Odum, H. (1995). Tropical forest systems and the human economy in Tropical Forests: Management and Ecology. Ecological Studies .Vol. 112, ed. by A.E. Lugo and C. Lowe. Springer-Verlag, NY. pp. 343-393

**27.** Ospina, B. D. (2001). Introducción al Muestreo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 263 p.

**28.** Rangel, C. & Velásquez, A. (1997). Métodos de estudio de la vegetación: Colombia diversidad biótica II. Tipos de vegetación en Colombia, 59-87.

**29.** Rodríguez, J. C. (1989). Consideraciones sobre la Biomasa, Composición Química y Dinámica del Bosque Pluvial Tropical de Colinas Bajas, Bajo Calima Buenaventura, Colombia. HOLANDA, Bogotá: Convenio CONIF. 36 p.

**30.** Russo, A. R. O. (1983). Mediciones de Biomasa en Sistemas Agroforestales. Turrialba: CATIE, Turrialba (Costa Rica). Departamento de Recursos Naturales Renovables. 27 p.

**31.** Salud Capital. (2005). Diagnóstico Local con participación social, Puente Aranda. Bogotá: Secretaría Distrital de Salud. 186 p.

**32.** Secretaría Distrital de Planeación (2009). Conociendo la Localidad de Puente Aranda: Diagn*óstico de los aspectos físicos* y socioeconómicos. Bogotá: Secretaria Distrital de Planeación. 140 p.

**33.** Secretaria_Distrital_de_Ambiente.(2011). Informe de Avance Programa Distrital de Acción frente al Cambio Climático Linea Base Bogotá GEI, escenrios emisiones referencte 2008, proyecciones 2019,2038 y 2050 de Bogotá D.C. Bogotá: Secretaria Distrital de Ambiente. 37p

**34.** Sieguel, S ., & Castellan, J. N. (1988). Nonparametric statistics for the behavioral sciences. New York.: Second Edition.McGraw-Hill Book Company. 399 p.

**35.** Sturges, H. (1926). The choice of a class-interval. J. Amer Statist Assoc, 21, 65–66.

**36.** Urquiza-Haas, T., Dolman, P. M., & Pérez, C. A. (2007). Regional scale variation in forest structure and biomass in the Yucatan Peninsula, Mexico: Effects of forest disturbance. Forest Ecology and Managment, 247: 80-90.

**37.** Vallejo, J., Londoño, M. I., López, A. C., Galeano, G., Alvarez, E., & Devia, W. (2005). Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de RecursosBiológicos Alexander von Humboldt. 310 p .

**38.** Villareal, H., Alvarez, M., Cordoba, S., Escobar, F., & Fagua, G. (2004). Manual de Métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Bogotá – Colombia: Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.. 236 p.

**39.** Wittmann, F., Zorzi, B. T., Tambelini, F. A., Santiago, M. V., Faria, R. R., Machado, N., & otros.(2008). Tree Species

Composition, Structure and Aboveground Wood Biomass of a Riparian Forest of the Lower Miranda River, Southern Pantenal,Brazil, *Folia Geobotanica.,43* (4),397-411.

**40.** Yepes, A.P., Navarrete, D.A., García, M.C., Álvarez, E., Cabrera, E., Cárdenas, D., Galindo, G., Ordóñez, M.F., Rodríguez, M.L., Vargas, D.M. Phillips, J.F., Duque, A.J., & Cabrera, K.R., (2011). Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. 16 p.

**41.** Zuñiga, F. B., Palacio, J., & Gonzalez, H. (2011). Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales segunda edición . Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. México: Universidad Autónoma de México. 770 p.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 16 de marzo de 2015
Aceptado: 20 de abril de 2015

# Anexos

## Anexos:

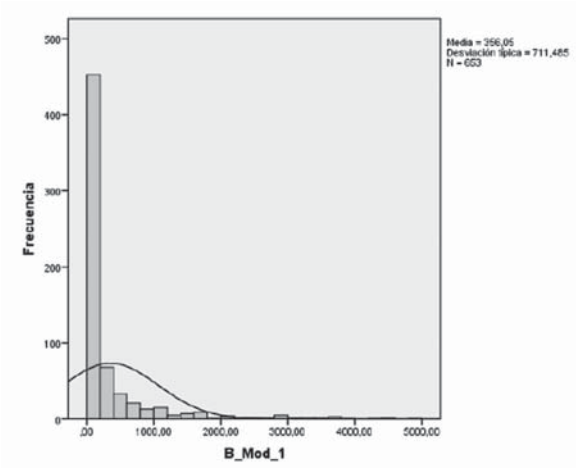


**Figura 1.** Histograma Biomasa Kg.ha-1 Modelo 1

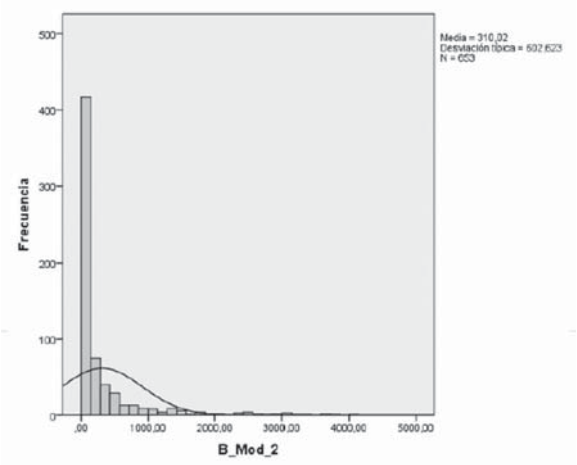


**Figura 2.** Histograma Biomasa Kg.ha-1 Modelo 2

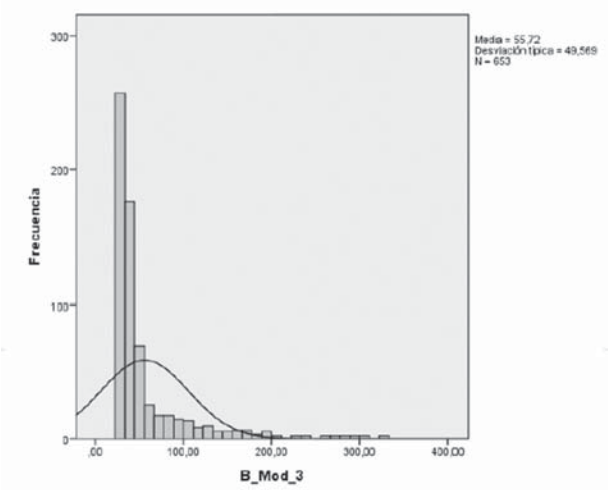


**Figura 3.** Histograma Biomasa Kg.ha-1 Modelo 3

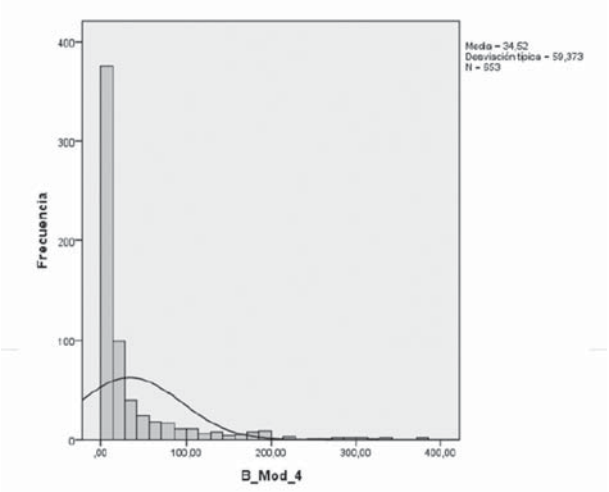


**Figura 4.** Histograma Biomasa Kg.ha-1 Modelo 4

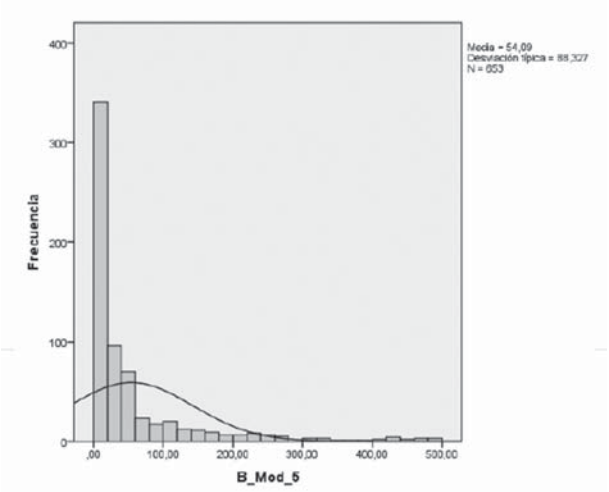


**Figura 5.** Histograma Biomasa Kg /ha-1 Modelo 5

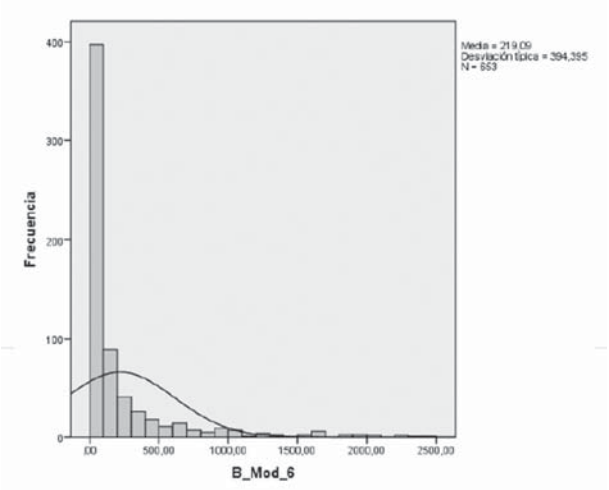


**Figura 6.** Histograma Biomasa Kg.ha-1 Modelo 6

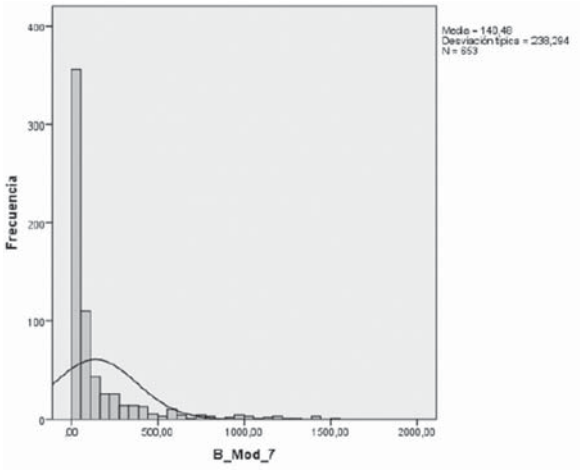


**Figura 7.** Histograma Biomasa Kg.ha-[1] Modelo 7

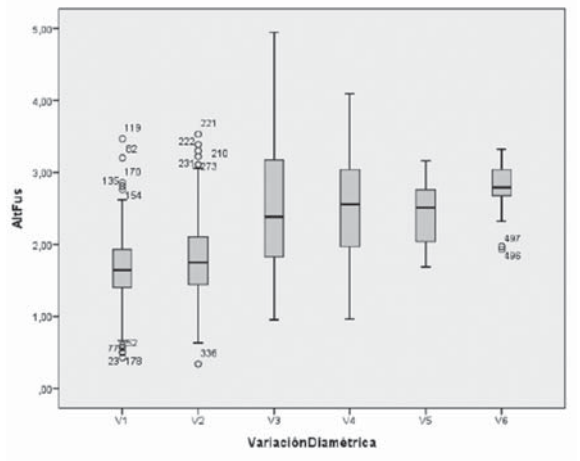


**Figura 8.** Diagrama de cajas de diferencias significativas ente la Altura(m) y la variación diamétrica de la especie *Ficus soatensis*

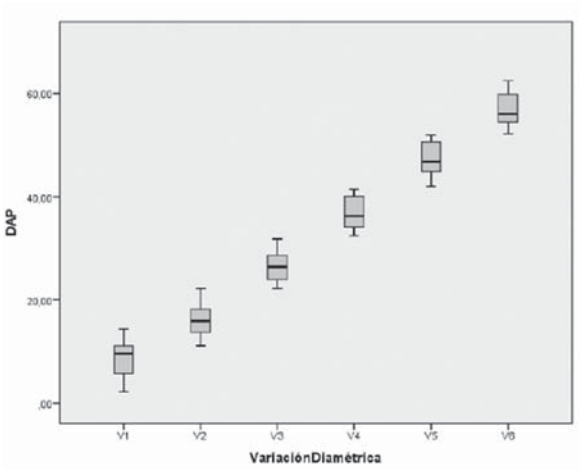


**Figura 9.** Diagrama de cajas diferencias significativas ente el DAP(cm) y la variación diamétrica de la especie *Ficus soatensis*

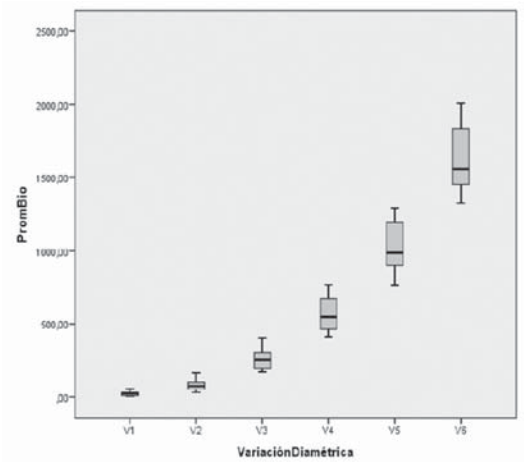


**Figura 10.** Diagrama de cajas diferencias significativas ente la Biomasa (kg/ha-[1] ) y la variación diamétrica especie de la *Ficus soatensis*

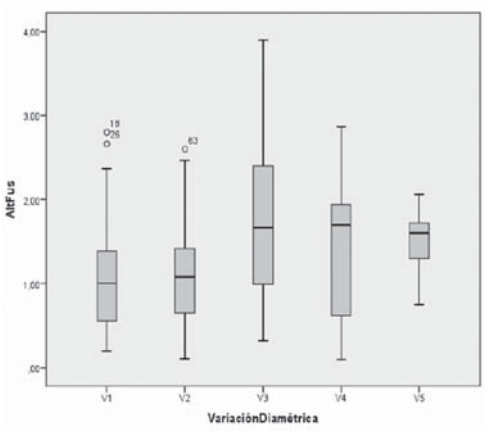


**Figura 11.** Diagrama de cajas diferencias significativas ente las alturas (m) y la variación diamétrica de la especie *Tecoma stans*

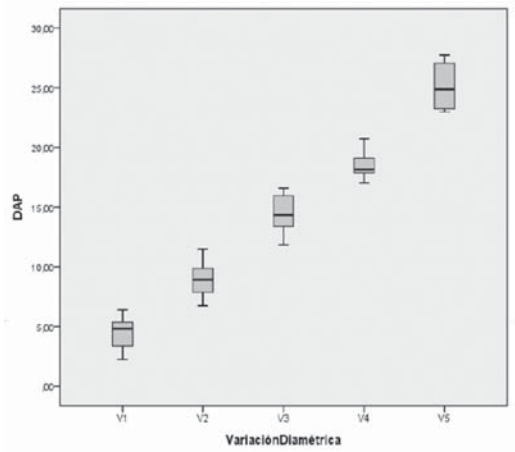


**Figura 12.** Diagrama de cajas diferencias significativas ente los DAP (cm) y la variación diamétrica de la especie *Tecoma stans*

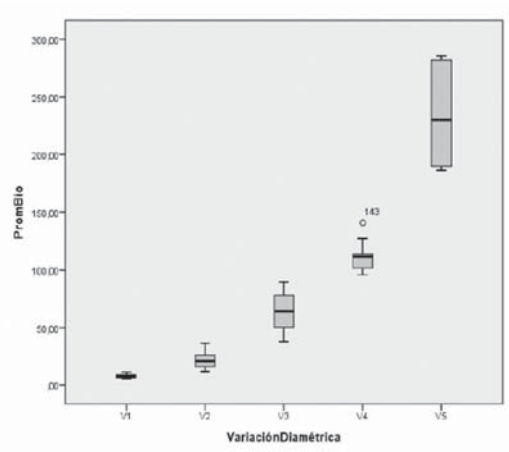


**Figura 13.** Diagrama de cajas diferencias significativas ente la Biomasa (kg/ha$^{-1}$ ) y la variación diamétrica de la especie *Tecoma stans*

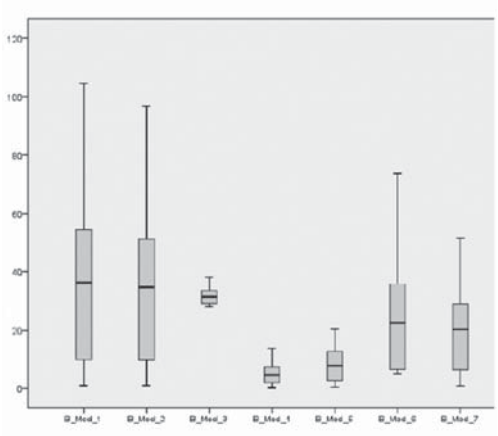

**Figura 14.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (kg/ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases Diamétricas I de la especie *Ficus soatensis*

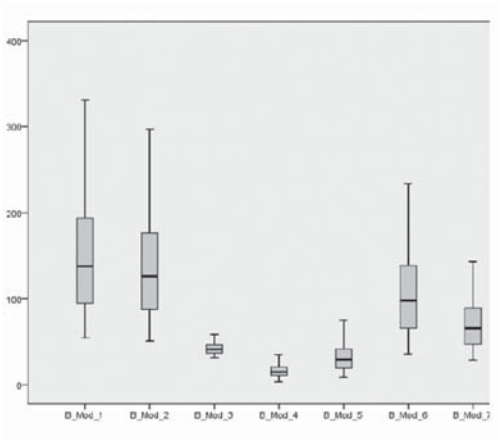

**Figura 15.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (kg/ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases Diamétricas II de la especie *Ficus soatensis*

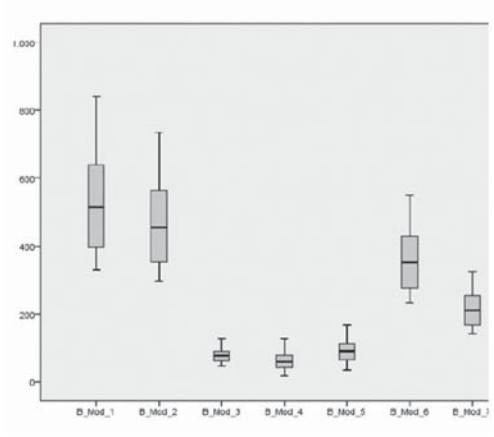

**Figura 16.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (kg) de los siete modelos en Clase Diamétrica III de la especie *Ficus soatensis*

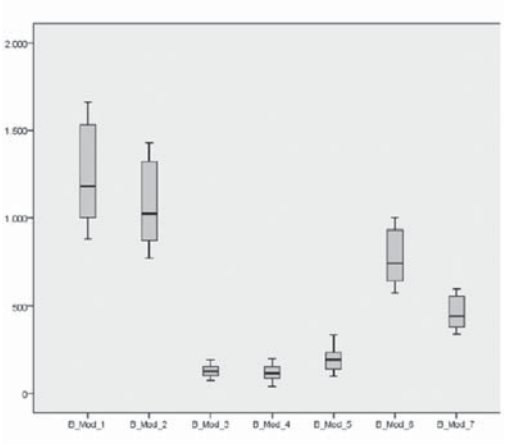

**Figura 17.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (kg) de los siete modelos en Clase Diamétrica IV de la especie *Ficus soatensis*

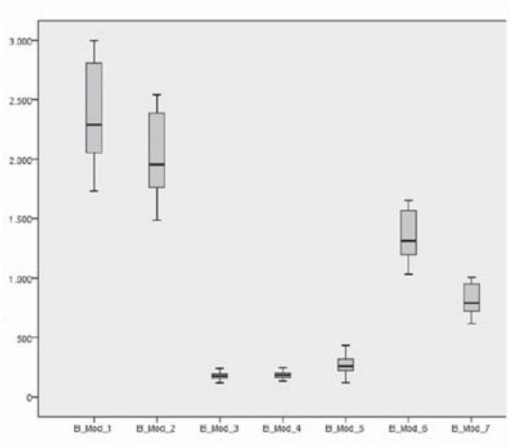

**Figura 18.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases Diamétricas V de la especie *Ficus soatensis*

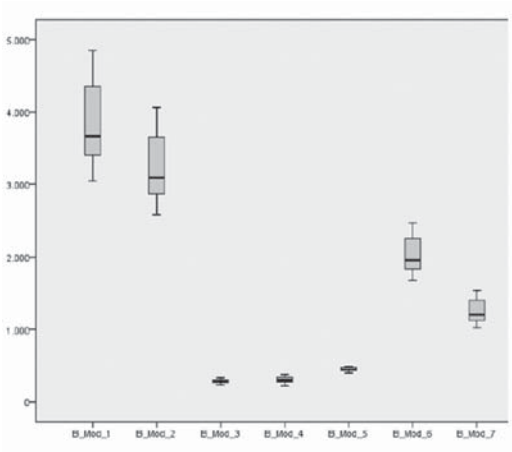


**Figura 19.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases DiamétricasVI de la especie *Ficus soatensis*

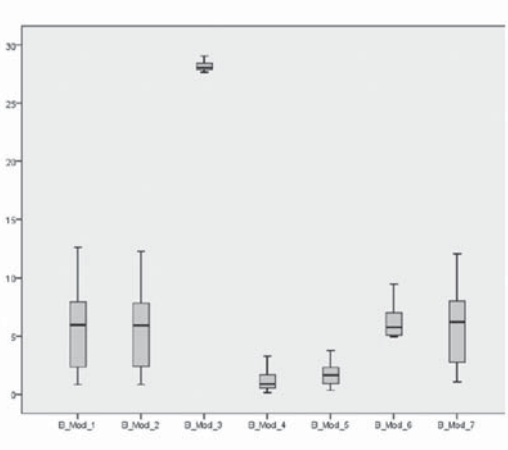


**Figura 20.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases Diamétricas I de la especie *Tecoma stans*

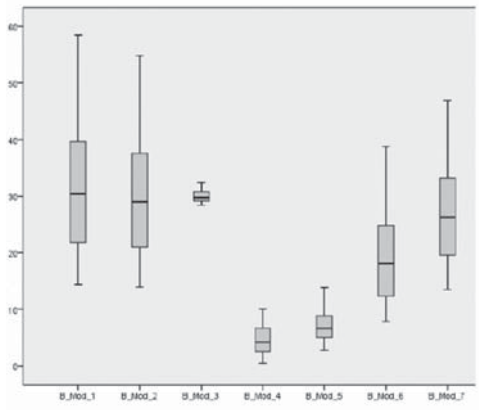


**Figura 21.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases Diamétricas II de la especie *Tecoma stans*

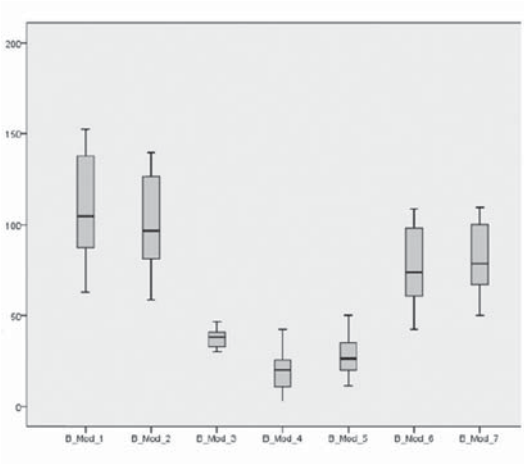


**Figura 22.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases Diamétricas III de la especie *Tecoma stans*

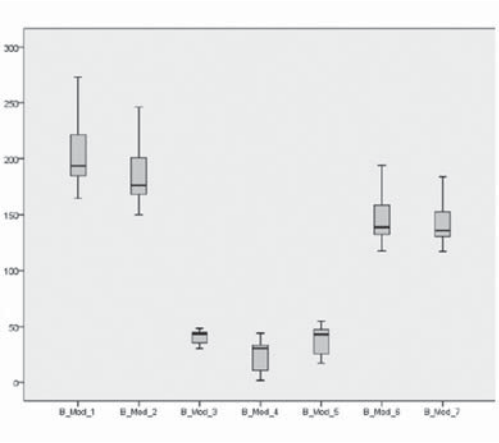


**Figura 23.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases Diamétricas IV de la especie *Tecoma stans*

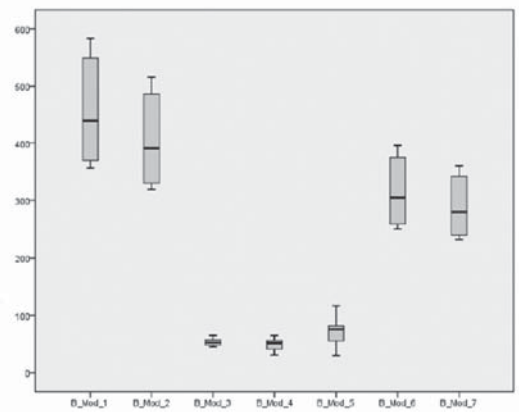


**Figura 24.** Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha$^{-1}$ ) de los siete modelos en Clases Diamétricas V de la especie *Tecoma stans*

**Tabla 1.** *Normalidad en los errores (frecuencias)*

Distribución de frecuencias para uhat6, observaciones 1- 653
Numero de cajas = 25, medida -0, 0293893, desv. tip. =0,289727

| Intervalo | punto medio | frecuencia | rel | acum | |
|---|---|---|---|---|---|
| < -0, 66488 | -0, 70189 | 2 | 0, 31% | 0, 31 % | |
| -0, 66488 - -0, 59088 | -0, 62788 | 13 | 1, 99% | 2, 30 % | |
| -0, 59088 - -0, 51687 | -0, 55387 | 12 | 1, 84% | 4,13 % | |
| -0, 51687 - -0, 44287 | -0, 47987 | 29 | 4, 44% | 8, 58 % | * |
| -0, 44287 - -0, 36886 | -0, 40586 | 20 | 3, 06% | 11, 64 % | * |
| -0, 36886 - -0, 29485 | -0, 33186 | 25 | 3, 83% | 15, 47 % | * |
| -0, 29485 - -0, 22085 | -0, 25785 | 37 | 5, 67% | 21, 13 % | ** |
| -0, 22085 - -0, 14684 | -0, 18385 | 98 | 15, 01 % | 36, 14 % | ***** |
| -0, 14684 - 0, 072838 | -0, 10984 | 84 | 12, 86 % | 49, 00 % | **** |
| -0, 072838 - 0, 0011678 | -0, 035835 | 58 | 8, 88% | 57, 89 % | *** |
| 0, 0011678 - 0, 075173 | 0, 038171 | 51 | 7, 81% | 65, 70 % | ** |
| 0, 075173 - 0, 14918 | 0, 11218 | 55 | 8, 42% | 74, 12 % | *** |
| 0, 14918 - 0, 22318 | 0, 18618 | 47 | 7, 20% | 81, 32 % | ** |
| 0, 22318 - 0, 29719 | 0, 26019 | 31 | 4, 75% | 86, 06 % | * |
| 0, 29719 - 0, 37120 | 0, 33419 | 32 | 4, 90% | 90, 96 % | * |
| 0, 37120 - 0, 44520 | 0, 40820 | 14 | 2, 14% | 93, 11 % | |
| 0, 44520 - 0, 51921 | 0, 48220 | 22 | 3, 37% | 96, 48 % | * |
| 0, 51921 - 0. 59321 | 0, 55621 | 12 | 1, 84% | 98, 32 % | |
| 0, 59321 - 0, 66722 | 0, 63022 | 4 | 0, 61% | 98, 93 % | |
| 0, 66722 - 0, 74122 | 0, 70422 | 1 | 0. 15% | 99, 08 % | |
| 0, 74122 - 0, 81523 | 0, 77823 | 2 | 0, 31% | 99, 39 % | |
| 0, 81523 - 0, 88924 | 0, 85223 | 2 | 0, 31% | 99, 69 % | |
| 0, 88924 - 0, 96324 | 0, 92624 | 0 | 0, 00% | 99, 69 % | |
| 0, 96324 - 1, 0372 | 1, 0002 | 1 | 0, 15% | 99, 85 % | |
| >= 1, 0372 | 1, 0742 | 1 | 0, 15% | 100,00 % | |

Contraste de la hipótesis nula de distribución normal:
Chi- cuadrado (2) = 11, 685 con valor p 0, 00290

$H_0 = Los\ errores\ siguen\ una\ distribucion\ normal$
$H_i = Los\ errores\ NO\ siguen\ una\ distribucion\ normal$
Según los siguientes estadisticos Chi-cuadrado(2) = 11.685 con valor p 0,00290, NO se rechaza la hipotesis nula y se concluye que los errores siguen una distribucion normal.

# Elaboración de néctar de durazno (*Prunus persica* L.), endulzado con sucralosa como aprovechamiento de pérdidas poscosecha

# Elaboration of nectar peach (*Prunus persica* L.), sweetened with sucralose as use of post-harvest losses

## *Desenvolvimento de néctar de pêssego (Prunus persica L.), adoçado com sucralose como o uso de perdas pós-colheita*

**Darío Alberto Pinto Medina[1], Ángela Johana Lemus Cerón[2] & Gloria Acened Puentes Montañez[3]**

[1]Químico de Alimentos, Ingeniero de Alimentos, Especialista en Poscosecha de frutas, verduras y flores, Magister en Dirección y Administración de Empresas. [2]Administradora de Empresas Agropecuarias, Especialista Tecnológica en Gerencia de Proyectos. [3]Administradora Agricola, Especialista En Proyectos De Desarrollo, Magister En Ciencias Agrarias

[1, 2, 3]Escuela Administración de Empresas Agropecuarias. Facultad Seccional Duitama. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Carrera 18 Calle 22, Duitama. Boyacá. Colombia. Grupo de Investigación CERES. Escuela Administración de Empresas Agropecuarias UPTC- Duitama. Facultad Seccional Duitama. Carrera 18 Calle 22, Duitama, Boyacá, Colombia.

[1]dario.pinto@uptc.edu.co, [2]glorispuentes@hotmail.com, [3]alegna.lemus@gmail.com

### Resumen

En el durazno *(Prunus persica* L), así como en la mayoría de los frutos climatéricos, la calidad y el tiempo de vida útil comercial son afectados por los inadecuados manejos durante la cosecha, transporte y empaque, evidenciados por una serie de daños y defectos que el consumidor rechaza a la hora de adquirir el producto en fresco y que representan cuantiosas pérdidas al final del proceso de mercadeo, esta investigación se basó principalmente en el aprovechamiento de las pérdidas en durazno en el eslabón de la poscosecha, agroindustrializando la materia prima; se realizaron pruebas sensoriales para determinar la variedad más aceptada de tres probadas: Rubidoux, Dorado y Rubidoux-Dorado, no se evidenciaron diferencias significativas entre las muestras**.** Para darle valor agregado al producto, se fabricó néctar de la variedad Rubidoux endulzado con sucralosa, se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y bromatológicos siguiendo la normatividad vigente. Se encontró que la sucralosa contribuyó a disminuir considerablemente el aporte calórico en el néctar elaborado, pasando de 48 Kcal/100g a 38,69 Kcal/100g. Se concluye que el costo de producción unitario para envase de 350ml ($ 1.054) resulta favorable, puesto que la rentabilidad puede superar el 40%, para un precio de venta de $1.476, generando un producto competitivo en el mercado, dada la calidad y el valor agregado como alimento funcional.

**Palabras clave:** durazno, aprovechamiento, pérdidas, edulcorante, calorías.

### Abstract

In the peach (*Prunus persica* L) as well as in most of climacteric fruits, quality and time of commercial shelf life are affected by inadequate handling during harvesting, transporting and packaging, evidenced

by a series of injuries and defects the consumer rejects when the product is bought in fresh, representing heavy losses at the end of the marketing process, this research was based primarily on the use of losses in peach on postharves stage, agroindustrializing the raw material; sensory testing was performed to determine to determine the most accepted of three varieties: Rubidoux, Dorado and Rubidoux-Dorado, no significant differences between samples were evidenced. In order to give added value to the product, peach (Rubidoux variety) nectar sweetened with sucralose was produced, physicochemical, microbiological and bromatological analysis that meet current regulations were carried out. It was found that sucralose contributed to significantly reduce the caloric intake in the nectar prepared from 48 kcal/100g to 38,69 kcal/100g. It was concluded that the unit cost of production for packaging of 350ml ($ 1,054) is favorable, since the profitability may exceed 40%, for a purchase price of $1,476, generating a competitive product in the market, given the quality and value added as a functional food

**Key-words:** peach, profit, loss, sweetener, calories.

## Resumo

No pêssego (*Prunus persica* L), bem como na maioria dos frutos climatéricos, qualidade e tempo de vida comercial são afetados pelo manejo inadequado durante a colheita, o transporte ea embalagem, evidenciado por uma série de lesões e defeitos o consumidor rejeita ao comprar o produto fresco e representam enormes perdas no final do processo de comercialização, esta pesquisa foi baseada principalmente no uso de perdas no pêssego no link na pós-colheita, agroindustrializando a matéria-prima; Foram realizados testes sensoriais, para determinar a mais aceita das três provadas: Rubidoux, Rubidoux-Dorado Dorado e não houve diferenças significativas entre as amostras. Para dar um valor acrescentado ao produto, néctar adoçado com sucralose variedade Rubidoux foi feita, análises físico-químicas, microbiológicas e ciência dos alimentos foram realizados de acordo com as normas vigentes. Verificou-se que a sucralose contribuído para reduzir significativamente a ingestão calórica no néctar produzido a partir de 48 kcal / 100 g para 38,69 Kcal / 100 g. Concluiu-se que o custo unitário de produção para embalagens de 350ml ($ 1.054) é favorável, uma vez que a rentabilidade pode ser superior a 40% para um preço de venda de US $ 1.476, gerando um produto competitivo no mercado, dada a qualidade e valor acrescentado como alimento funcional.

**Palavras-chave**: pêssego, utilização, perdas, adoçante, calorias.

## Introducción

En el contexto mundial la producción de durazno (*Prunus persica* L.) asciende a 18.1 millones de t/año (USDA, 2011), el inventario nacional muestra que en Colombia 81.640 plantas son productivas (DANE, 2012). Para el departamento de Boyacá, se estiman 2.000 ha sembradas en caducifolios, donde el durazno representa el 33,7%, ubicándolo en primer lugar, luego de ciruelo, manzano y peral con el 32,6%, 19,6% y 14,1% respectivamente (SCCH Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, 2013). Las variedades de durazno más importantes en el departamento a nivel de producción y comercialización son Dorado y Rubidoux (Castro, Ramírez, Puentes & Delgado, 1998).

La demanda de frutas y hortalizas frescas como materia prima para la industria cada vez es más significativa. En este contexto, el desarrollo competitivo del sector hortofrutícola colombiano está íntimamente relacionado con la capacidad de procesamiento industrial y de generación de valor agregado, para así ampliar los actuales mercados

y aprovechar nuevas oportunidades comerciales, superando los problemas de admisibilidad en fresco que tienen actualmente algunas frutas en mercados como el de Estados Unidos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007). Sin embargo, el estado actual de los sistemas productivos en frutales caducifolios en Colombia y la identificación de problemas en el eslabón de la cadena productiva, determina que una de las causas de pérdidas en dichos productos radica en el bajo conocimiento de estudios para prolongar la vida en poscosecha (Miranda, Fischer & Carranza, 2013); de forma similar en la cosecha, fase en donde se cree que hay mayor pérdida debido a la excesiva manipulación del fruto y algunas falencias en el manejo de plagas y enfermedades, muestra que el productor no cuenta o no tiene conocimiento de los procedimientos técnicos que le permitan disminuir la pérdida del producto en fresco, esto refleja la oportunidad de aprovechamiento de los frutos que no son aptos para la comercialización pero que pueden ser destinados a la transformación agroindustrial.

Dentro del mercado nacional e internacional de alimentos y bebidas, se observan tendencias en el consumo de alimentos que al ser transformados proporcionen beneficios a la salud y que contribuyan a la prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes, l obesidad, entre otras. Alimentos energizantes, light, orgánicos, funcionales, etc., lideran la compra y preferencia de los consumidores conscientes de la relación entre la alimentación, la salud y el bienestar (Grández, 2008).

Asimismo, la industria alimentaria ha mostrado un gran desarrollo en cuanto a productos modificados en el contenido de sustancias, los cuales científicamente se ha demostrado que algunos son beneficiosos y otros perjudiciales para la salud. Para el caso de los alimentos funcionales, definidos como aquellos que contienen un componente, nutriente o no nutriente, con actividad selectiva relacionada con una o varias funciones del organismo, con un efecto fisiológico añadido por encima de su valor nutricional y cuyas acciones positivas justifican que pueda reivindicarse su carácter funcional (fisiológico) o incluso saludable (Rodríguez, Moreneo & Molina, 2003), se establecen tres generaciones de productos a lo largo de la historia: la primera generación surge en la década de los setenta, época caracterizada por un mayor interés por parte de la población en consumir alimentos con poco procesamiento. Posteriormente, en la década de los ochenta, se presenta la segunda generación de alimentos naturales, caracterizados por estar modificados en el contenido de grasas y azúcares; surgen entonces los productos light, bajos en calorías, bajos en grasa, bajos en azúcar y paralelamente se resaltan aquellos productos ricos en fibra. La tercera generación se inició en la década de los noventa, en donde surge el concepto de las propiedades funcionales, lo cual ha promovido la formulación de productos con características específicas, destacándose el desarrollo de los productos con probióticos, prebióticos, fitoesteroles y fibras (Sedó, 2002). Desde esta perspectiva han venido surgiendo nuevas corrientes en el procesamiento de alimentos, donde el propósito fundamental es dar respuesta a las necesidades de los consumidores por adquirir productos procesados más saludables.

En la actualidad se están remplazando los azucares convencionales por edulcorantes artificiales como la sacarina, el aspartame y la sucralosa, y otros de origen natural como el sorbitol y manitol, todo con el fin de suplir las nuevas tendencias de consumo a nivel global.

El panel sensorial se utiliza como herramienta que permite detectar y percibir las preferencias de los consumidores, siendo indispensable en el procesamiento de alimentos, puesto que establece un control de calidad y aceptabilidad de los mismos.

Dada la necesidad por encontrar alternativas que permitan la prevención y el buen estado de la salud, surge el interés en profundizar en los alimentos bajos en azucares, elaborando un néctar de durazno que cumpla con la normatividad nacional vigente, con bajo aporte calórico y que pueda ser orientado a la dieta de personas diabéticas.

## Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Seccional Duitama (Boyacá, Colombia), la cual cuenta con la maquinaria y utensilios necesarios para la transformación agroindustrial del durazno.

Por otro lado, para obtener resultados confiables en cuanto a composición del néctar, se contrataron los servicios de un laboratorio externo para el análisis bromatológico y microbiológico.

***Materia Prima***

Para la obtención de pulpa de fruta, se utilizó durazno cuyo tamaño y daño físico no representa un valor económico considerable al productor primario, basándose en la norma NTC 4486**.** La materia prima usada en la investigación proviene de la granja experimental Tunguavita, ubicada en la vereda El Salitre, municipio de Paipa (Boyacá, Colombia), Latitud: 0.5º45' Norte, Longitud: 73º45' Oeste, Altitud: 2525 msnm (UPTC, 2014)

***Panel Sensorial***

El panel sensorial se basó principalmente en determinar si era posible distinguir diferencias entre muestras (variedad Rubidoux, Dorado y mezcla Rubidoux - Dorado); de esta manera se utilizó pulpa en cada una de las variedades para elaborar los néctares. Este se realizó mediante una prueba de diferencia y se conformó con 11 evaluadores. Se ejecutó una prueba de triángulo para determinar si existen disparidades perceptibles entre muestras, la prueba consistió en que tres muestras codificadas fueron presentadas a los panelistas; una muestra fue diferente y las otras dos fueron iguales, una de las muestras codificadas es idéntica a la referencia (R) y la otra no (Watts, Ylimaki, Jeffer & Elías, 1995). A los panelistas se les pidió que probaran en primer lugar la muestra R y a continuación las muestras codificadas, para tratar de identificar cuál de las dos muestras codificadas es idéntica a R (o diferente de R). Las muestras se sirvieron en vasos de plástico codificados con números de 3 dígitos. El análisis de datos del panel de evaluadores se comparó mediante análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia ($p< 0,50$), prueba binomial de un extremo, para identificar si se deben realizar formulaciones para una variedad en particular o se debe experimentar con cada una de las variedades postuladas (Rubidoux, Dorado, Mezcla Rubidoux- Dorado), con el fin de desarrollar un producto alimenticio a base de durazno con formulaciones bajas en azúcar.

***Obtención pulpa de durazno***

Para la obtención de la pulpa de durazno, se realizó un lavado y desinfección del material vegetal, luego se peló, se sumergió en una solución de ácido cítrico al 1% para evitar pardeamiento enzimático, se escaldó a 80°C por 5 minutos e inmediatamente se recibió la fruta en agua potable fría para evitar daños en nutrientes, el durazno se escurrió y se llevó a una despulpadora con tamiz de 0,05cm, la pulpa se caracterizó tomando datos como peso de pulpa, acidez titulable, pH, °Brix, y contenido de pectina.

***Obtención de Néctar***

Previamente caracterizada la pulpa, se realizó el balance de materia con el fin de obtener el máximo aprovechamiento de los sólidos solubles que aporta el durazno a la formulación. Se usaron ingredientes como agua potable, sucralosa, ácido cítrico y carboximetilcelulosa, que fueron mezclados con la pulpa en un pasteurizador lento, llevando la composición a 90°C por 20 minutos, luego se descendió la temperatura del néctar a 80°C y se envasó en recipientes de vidrio, una vez llenos se procedió a realizar esterilización en autoclave a 120°C por 20 minutos, garantizando así la plena inocuidad del producto, el diagrama de flujo se muestra en la Figura 1.

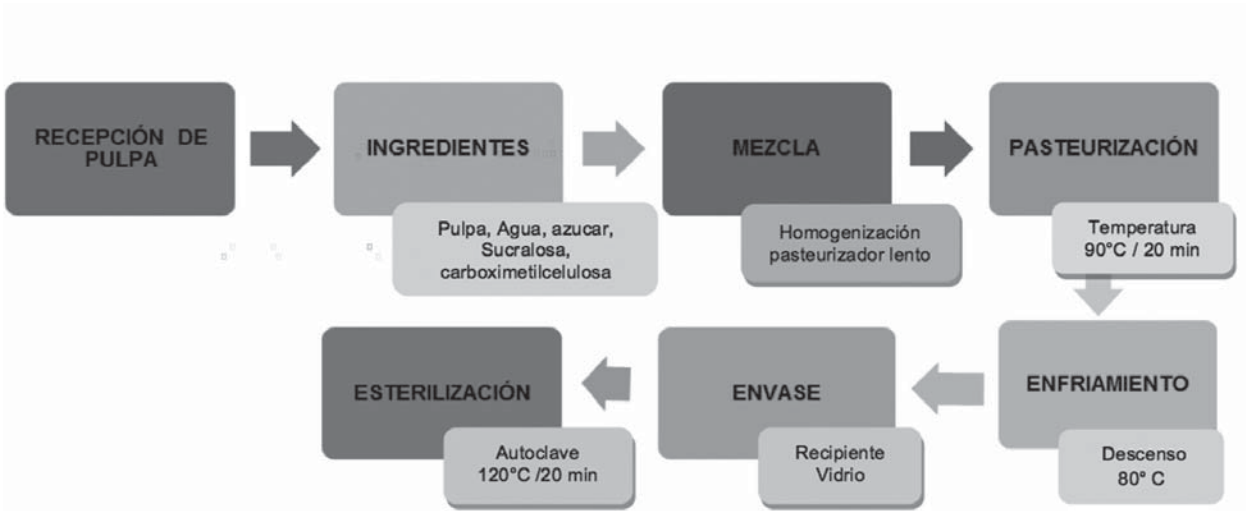


**Figura 1.** Diagrama de flujo para obtención de néctar de durazno.
Planta de Procesamiento de Alimentos, U.P.T.C.

***Análisis fisicoquímico, microbiológico y bromatológico del néctar obtenido***

A las muestras frescas se les realizó pruebas de acidez según el método oficial 942.15. (AOAC, 1990). El pH se determinó con potenciómetro digital marca TESTO 206, precisión 0,11. (AOAC, 1984). Los sólidos solubles se establecieron midiendo el índice de refracción de las muestras de frutas en refractómetro ATAGO a 20ºC, exactitud ± 0.2% (A.O.A.C, 1990).

La caracterización microbiológica se hizo según los valores de referencia consignados en la resolución 7992/91 del Ministerio de Salud, República de Colombia. Se realizó de acuerdo a la metodología oficial establecida, recuento de microorganismos mesofílicos por el método de recuento en placa: AOAC 966.23.C, coliformes totales con el método de tubos múltiples fermentativos: AOAC 966.24 y recuento de hongos y levaduras por el método de recuento en placa: AOAC 997.02.

El análisis bromatológico se basó en la determinación de calorías método por cálculo, carbohidratos y materia seca método por diferencia, humedad, cenizas, fibra cruda y grasa método gravimétrico; proteína en base húmeda método Kjeldahl.

***Estructura de Costos***

Una vez realizados los procesos, se identificaron los costos en los que se incurre en el procesamiento de néctar en la planta piloto de procesamiento de alimentos de la U.P.T.C., el modelo se enfocó a los costos de producción que fueron recopilados a partir de registros, teniendo en cuenta la capacidad dinámica de cada equipo y su respectiva clasificación en el proceso productivo (Villalobos, 2008). De acuerdo con la clasificación obtenida se pretendió conseguir el costo unitario del néctar, al igual que determinar el punto de equilibrio.

## Resultados y discusión

***Análisis Sensorial***

Con el análisis de varianza se obtuvo que el valor del F calculado, correspondiente al resultado de cada una de las pruebas en el panel, es inferior al valor crítico de F, donde la probabilidad es superior a 0,05. De esta manera se puede establecer que no hubo diferencia significativa entre las distintas pruebas de diferenciación del panel sensorial entre variedad Rubidoux, Dorado y la mezcla de las dos, por consiguiente la hipótesis nula es aceptada. Adicional a este análisis, se efectuó la prueba de comparación mediante el método de mínima diferencia significativa

(DMS), la prueba da como resultado que ningún *p* valor se encuentra por debajo del $\alpha$, por lo tanto no hay desigualdad entre cualquier par de diferencias de medias en cada prueba. La Figura 2 resume medidas estadísticas entre el valor mínimo, máximo, mediana y los cuartiles en cada una de las pruebas, se observaron datos atípicos con respecto a la prueba 1 (P1), debido a que en esta prueba el valor de respuestas correctas fue de 0 (cero). Las distribuciones con respecto a la mediana son similares entre las pruebas 2, 3 (P2- P3) sin embargo muestran una diferencia para P1, ya que hubo mayor número de respuestas acertadas para estas pruebas.

Dado este resultado, se resume que cualquiera no hay diferencias perceptibles entre las variedades utilizadas, por tanto en esta investigación se decidió utilizar para la elaboración del néctar el durazno Rubidoux ya que es una de las variedades más representativas del departamento de Boyacá, y puede alcanzar un contenidos de solidos solubles totales hasta los 11,5ºBrix (Casierra, Rodríguez & Cárdenas, 2007), razón que permite apropiado balance en masa y menor cantidad de endulzante para la elaboración del producto.

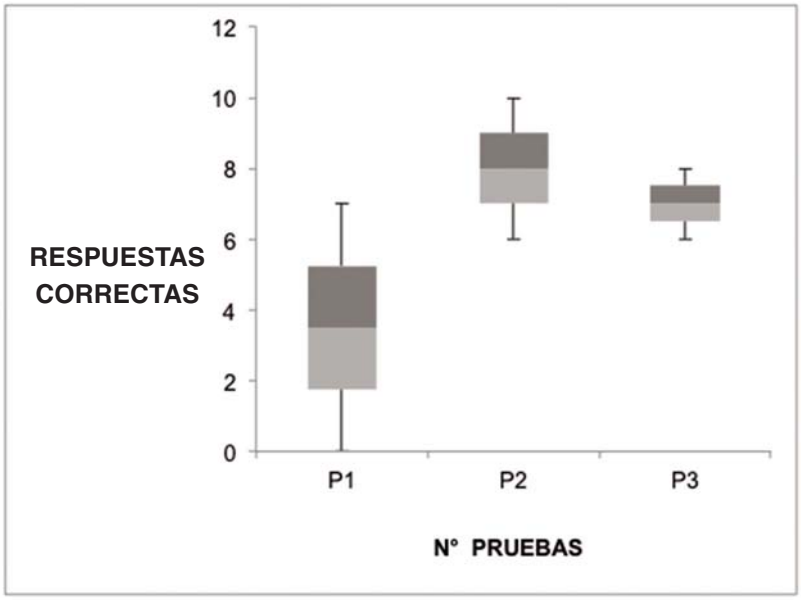


**Figura 2.** Análisis estadístico de las pruebas sensoriales.
Box plot, mínimo, máximo, mediana y cuartiles

***Análisis Fisicoquímicos***

La Tabla 1 muestra las características físicas y químicas para la elaboración del néctar según la Resolución 3929/2013, el producto obtenido respondió a las condiciones del néctar proyectado, debido a que el producto se llevó a una mayor concentración con el fin de compensar el contenido de sólidos que se le retiro a la formulación al remplazar sacarosa por sucralosa. Para la elaboración del néctar de durazno se utilizó un porcentaje de fruta del 30%, y se realizó el balance matemático para estabilizar la mezcla y así mismo aprovechar los aportes de componentes de la fruta, cabe señalar que a medida que aumenta el porcentaje de pulpa aumenta la actividad antioxidante del producto final (Rodriguez, Pulido & Alba, 2010)

El pH del durazno fue de 3,5 indicando que es una fruta semiácida, valor que contribuye a frenar el crecimiento de microorganismos patógenos

(Vaclavik, 2002). La acidez titulable coincide con el indicativo de un fruto ácido-dulce, lo cual representa su principal característica por la amplia aceptación del fruto para el mercado (Garcia, 2006).

***Tabla 1.*** *Características físico- químicas para elaboración de néctar de durazno variedad Rubidoux, en relación con las especificaciones de la pulpa de fruta.*

| Parámetros | Características Pulpa | Características Finales Del Néctar | Cantidad de Ingredientes |
|---|---|---|---|
| °Brix | 7,6 | 11 | 0,02 kg Sucralosa<br>1,2 kg azúcar |
| pH | 3,5 | 3,3 | 0,5 g ácido cítrico |
| % acidez titulable | 0.30 | 0,34 | 0,5 ml NaOH |
| % participación pulpa | 5kg | 30% | 5 kg pulpa |

En la Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio en cuanto a calidad microbiológica, estableciendo que según la resolución 3929/2013, el producto cumple con parámetros de inocuidad, siendo seguro para el consumidor. Sin embargo fue importante realizar los procesos en un nivel seguro, puesto que, para obtener productos inocuos con baja carga bacteriana, es necesario mantener condiciones de higiene y saneamiento durante el proceso, equipos, utensilios y personal (Jay, 2002).

***Tabla 2.*** *Caracterización microbiológica del néctar de durazno variedad Rubidoux*

| Descripción | Valor Obtenido | Valor Admisible | Método |
|---|---|---|---|
| Aerobios mesófilos (UFC/g) | 40 | 1.000 - 3.000 | Recuento en placa |
| Coliformes Totales (NMP/g ) | < 3 | 9-29 | Tubos múltiples fermentativos |
| Mohos y levaduras (UFC/g) | <10 | 100 - 200 | Recuento en placa |

En la Tabla 3, se muestran los resultados bromatológicos obtenidos, se observa el aporte calórico y el contenido final de carbohidratos del néctar elaborado, que comparado con sus homólogos, resulta favorable para el consumidor que desea alimentos funcionales.

En los últimos años han tomado fuerza los alimentos dietéticos a los cuales se añaden sustancias que cumplen ciertas funciones como gelificar, dar volumen, plasticidad, pero que no son asimilados y por lo tanto no se transforman en tejido graso. Algunas de estas sustancias comunican un fuerte sabor dulce y se están empleando para reemplazar los edulcorantes naturales tradicionales (Camacho, 2002), para el caso de la investigación, se observa que se redujo considerablemente el aporte calórico del néctar gracias a la adición de la sucralosa en la formulación, además de se estableció un aprovechamiento al material

vegetal que se produce en la granja Tunguavita perteneciente a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, y que era desechado por daños mecánicos y por no cumplir con los tamaños y formas exigidos para su comercialización en fresco.

***Tabla 3.*** *Caracterización bromatológica en néctar de durazno variedad Rubidoux*

| Descripción | Valor Obtenido | Método |
|---|---|---|
| (%) Proteína base húmeda (F=6,25) | 0,35 | Kjeldahl |
| (%) Cenizas | 0,11 | Gravimétrico |
| (%) Humedad | 89,68 | Gravimétrico |
| (%) Carbohidratos | 9,21 | Diferencia |
| (%) Fibra Cruda | 0,60 | Gravimétrico |
| (%) Grasa | 0,05 | Gravimétrico |
| (%) Calorías (kcal/100 g) | 38,69 | Cálculo |
| (%) Materia Seca | 10,32 | Diferencia |

***Estructura de Costos***

La Tabla 4 muestra el costo de procesamiento de néctar, teniendo en cuenta la capacidad diaria, semanal y mensual de 80 lt, 400 lt y 1.600 lt, respectivamente, en producción capacidad dinámica por equipo, en la Planta de Procesamiento de Alimentos de la U.P.T.C. El costo unitario de producción resulta atractivo para el procesador puesto que la rentabilidad se valora en el 40% y el precio de venta compite favorablemente con productos similares en el mercado.

***Tabla 4.*** *Estructura de Costos para procesamiento de néctar de durazno variedad Rubidoux*

| Costo Producción | Valor |
|---|---|
| **Costos Directos** (Materias primas, insumos y materiales) | $ 4.409.586 |
| **Costos Indirectos** (Equipos, depreciación, servicios ) | $ 486.034 |
| **Costo Unitario de Producción** (Envase 350 ml) | $ 1.071 |
| **Precio de Venta** | |
| Rentabilidad o Utilidad Esperada | 40% |
| Utilidad sobre cada unidad vendida | $ 428,37 |
| Costo unitario de producción + Rentabilidad esperada del empresario | $ 1.499 |
| **Punto de Equilibrio** | |
| Venta mínima de unidades para cubrir costos de producción /mensual | 501 |

## Conclusiones

La sucralosa, es uno de los edulcorantes más empleados para endulzar alimentos procesados, obtenida por una halogenación selectiva de la sacarosa, con un poder edulcorante 600 veces más fuerte que la sacarosa, contribuyó en la presente investigación a disminuir considerablemente el aporte calórico en el néctar elaborado, pasando de 48 Kcal/100g a 38,69 Kcal/100g.

Cuando la sucralosa se emplea para reemplazar el azúcar tradicional en la formulación de un néctar, las calorías se reducen prácticamente a las que aporta la cantidad de pulpa agregada al néctar, favoreciendo la funcionalidad del producto elaborado.

Si se formulara un néctar únicamente con sucralosa, se identificaría que aunque su sabor dulce es igual al edulcorado con sacarosa, los °Brix finales son cerca de diez veces más bajos y por lo tanto, diez veces más bajo su aporte calórico, teniéndose que aplicar una pasteurización más rigurosa que la utilizada en esta investigación, para poder garantizar su conservación por largos periodos debido al bajo contenido de solidos solubles.

En la actualidad se les da la denominación de dietéticos a los néctares que poseen un valor calórico mínimo, al compararlos con los néctares tradicionales los cuales son edulcorados con carbohidratos que aportan 4 calorías por gramo, en esta investigación se obtuvo un néctar con bajo aporte calórico, pero que sigue siendo elevado para ser dirigido a consumidores con problemas para metabolizar los azucares (diabéticos).

El costo de producción para el proceso resulta favorable, puesto que la rentabilidad puede superar el 40%, generando un producto competitivo en el mercado, dada la calidad y el valor agregado como alimento funcional

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Dirección de Investigaciones de la UPTC Sede Central Tunja, Grupo CERES. Proyecto Joven Investigador número 1441.

## Literatura citada


1. A.O.A.C. (1984). Official Methods of Analysis. En A. o. Chemists. Washington D.C: Ed. S Williams.
2. A.O.A.C. (1990). Official Methods of Analysis. En A. o. Chemists. Washington. D.C: Ed. S. Williams.
3. Camacho, G. (2002). Transformación y Conservación de Frutas. Instituto de Ciencia y tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Curso virtual. Recuperado de: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obnecfru/p3.htm
4. Casierra, F. Rodriguez, J. & Cardenas J. (2007). La relación hoja: fruto afecta la producción, el crecimiento y la calidad del fruto en duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. 'Rubidoux'). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, 60*(1): 3657-3669.
5. Castro, A. Ramirez, J. Puentes, G. & Delgado, A. (1998). Manejo Poscosecha y Comercialización de Durazno (*Prunus persica* L. Batsch). Bogota: SENA- DFID, p48-50.
6. DANE, (2012). Encuesta Nacional Agropecuaria. Bogota: Departamento Administrativo Nacional de Estadistica.
7. Garcia, A. (2006). Caracterización física y química de duraznos (*Prunus persica (*l.) batsch) y efectividad de la refrigeración comercial en frutos acondicionados. *Bioagro, 18*(2):115-121.
8. Grández, G. (2008). Evaluacion Sensorial y Fisico-química de néctares mixtos de frutas a diferentes proporciones. (Tesis de pregrado) Ingenieria Industrial. Universidad de Piura. Perú
9. Jay, M. (2002). Microbiología Moderna de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, p342-345.
10. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2007). La Industria procesadora de Frutas y Hortalizas en Colombia. Bogotá D.C: MADR, p15-16
11. Miranda, D. Fisher, G. & Carranza, C. (2013). Los frutales caducifolios en Colombia. Equilibrio Grafico Editorial Ltda. Bogotá, p76-80
12. Rodriguez, L. Pulido, A. & Alba, J. (2010). Formulación de Néctar de Marañón (*Anacardium Occidentale* L) usando la metodología de superficie de respuesta para optimizar la aceptación sensorial y la actividad antioxidante. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 20 (*24): 47-52.
13. Rodríguez, M. Monereo S. & Molina, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima. *Revista Española de Salud Pública, 77(*3): 317-331.

**14.** SCCH Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. (2013). Los frutales caducifolios: una alternativa de reconversión en el sector hortifrutícola Boyacense. *Frutas y Hortalizas, 3* (29):14-19.

**15.** Sedó, P. (2002). The market of functional foods and the new challenges for the nourishing-nutricional education. *Revista Costarricense de Salud Pública, 11*(20):18-25.

**16.** U.P.T.C. (2014). Sistema de información administrativo y financiero. Tunja: (SIAFI).

**17.** USDA. (2011). Departamento de Agricultura de EE.UU. Noticias del Sector de Frutas y Verduras. Recuperado de: http://www.freshplaza.es/news_detail.asp?id=63515

**18.** Vaclavik, V. (2002). Fundamentos de ciencia de los alimentos. 1a. Edición. Acribia. Zaragoza, España, p483.

**19.** Villalobos, B. (2008). Diseño de una estructura de costos para los pequeños productores de banano (*Musa paradisiaca* L.) en el departamento del Magdalena. (Tesis de Maestria) Ingeniera Industrial. Universidad del Norte, Barranquilla.

**20.** Watts, B. Ylimaki, G., Jeffer, L. & Elías, L. 1995. Métodos Sensoriales Básicos para la evaluación de Alimentos. 0ttawa, Canadá: Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo, pp.87-94.


## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 09 de febrero de 2015
Aceptado: 27 de abril de 2015

# Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico.

# Importance of renewable energies in the energy security and its relationship with economic growth.

## *Importância das energias renováveis na segurança energética e sua relação com o crescimento económico.*

**Lilian Paola Umbarila Valencia[1], Freddy Leonard Alfonso Moreno[2] & Julio César Rivera Rodríguez[3]**

[1]Ingeniera Química, Magister en Docencia e Investigación Universitaria. [2]Químico, Especialista en Gestión Ambiental Urbana, Magister en Ingeniería con especialidad en sistemas de calidad y productividad. [3]Licenciado en Química, Magister en Docencia de la Química.

[1, 2, 3]Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Minuto de DIOS.

[1]lumbarila@uniminuto.edu, [2]falfonso@uniminuto.edu, [3]julio.rivera@uniminuto.edu

**Resumen**

La creciente demanda de las necesidades sociales a nivel global, impulsada por los hábitos de vida y la forma en la que se organizan las regiones ha llevado al crecimiento paralelo de la industria y con ello al creciente aumento del consumo de energía. Este artículo de investigación reflexiona acerca de la relevancia que tienen las energías renovables para la seguridad energética, teniendo en cuenta la inestabilidad de los precios del petróleo y su influencia en el mercado de los hidrocarburos como fuente primaria de energía. Se evidencian los avances que han tenido las tecnologías de energías renovables a nivel global, regional y local y el rol que juegan en la independencia energética y en la mitigación del impacto ambiental. Se concluye que las naciones deben buscar la optimización de las energías renovables desde los ámbitos: local, regional y global propendiendo por su uso adecuado desde la legislación. El futuro de las energías renovables está dado por la rentabilidad, ya que para que el uso de éstas siga creciendo, deben seguir atrayendo capital lo cual significa que los inversores deben ver una rentabilidad competitiva. Otra recomendación importante es la integración de la energía renovable en la red, incluyendo fuentes de generación intermitentes e incluso imprevisibles.

**Palabras clave:** tecnologías, economía, industria, hidrocarburos, cambio climático.

**Abstract**

The growing demand of the social needs in a global scale, driven by lifestyle habits of life and the way regions are organized has led to the parallel growth of the industry and to the increase of energy consumption. This research article consider the relevance of renewable energies for energetic security, taking into account the instability of crude prices and its influence on the hydrocarbon market as a primary energy source. The advances achieved by renewable energy technologies globally, regionally and locally became evident as well as their role in the energetic independence and in mitigation of the environmental impact. It is concluded that the countries must aim to optimize the renewable energies in local, regional, and global levels, opting for an

adequate use supported by legislation. The future of renewable energies is given by profitability, in order to keep them growing, they must attract capital which means that investors must notice a competitive profitability. Another important recommendation is the renewable energy integration with the electrical network, including intermittent generation sources.

**Key-words:** technologies, economy, industry, hydrocarbons, climate change

## Resumo

A procura crescente de necessidades sociais em todo o mundo, impulsionado pelo estilo de vida e a maneira em que as regiões se organizam, leva a cabo o crescimento paralelo da indústria, aumentando assim o consumo de energia. Este artigo de pesquisa reflete sobre a importância das energias renováveis para a segurança energética, tendo em conta a instabilidade dos preços do petróleo e sua influência sobre o mercado do petróleo como fonte de energia primária. os avanços que têm tecnologias de energias renováveis ao nível global, regional e local e o papel que desempenham na independência energética e mitigação do impacto ambiental são evidentes. Conclui-se que as nações devem buscar a otimização de energia renovável a partir de áreas: local, regional e global propendiendo para o seu uso adequado iniciando pela legislação. O futuro das energias renováveis é dado pela rendabilidade, já que para aumentar seu uso, devem continuar a atrair capital, o que significa que os investidores devem ver um retorno competitivo. Outra recomendação importante é a integração das energias renováveis na rede, incluindo fontes de geração intermitentes e até mesmo imprevisível.

**Palavras-chave:** tecnologia, economia, indústria, petróleo, mudanças climáticas.

## Introducción

La creciente demanda de las necesidades sociales a nivel global, impulsada por los hábitos de vida y la forma en la que se organizan las regiones ha llevado al crecimiento paralelo de la industria y con ello al creciente aumento del consumo de energía. Dentro de la matriz energética, los sectores más demandantes de energía son el residencial, transporte e industrial (UPME, 2009). En el caso del sector residencial, la eficiencia energética puede crecer en mayor proporción debido a la implementación de tecnologías asequibles que permiten el ahorro. Sin embargo, el transporte y la industria no crecen al mismo ritmo debido a los altos costos de procesos y dispositivos eficientes y a los escasos mecanismos gubernamentales que apoyen su inversión e implementación, sobre todo en los países latinoamericanos (CEPAL, 2007). Lo anterior implica que hay una gran dependencia del transporte y de la industria con respecto a la seguridad energética, y ello conlleva a la implementación de energías renovables que alivianen el uso de las energías fósiles. Según el informe de la Agencia Internacional de Energía, AIE (2013), el petróleo lidera la fuente energética primaria con una participación del 32% en el consumo global de energía, esto anudado a la inestabilidad del precio y el impacto que genera el comercio del mismo en los sectores económico, social y ambiental, lo proponen como eje central para la toma de decisiones en la política internacional y local con el objeto de buscar nuevas alternativas o mejorar las existentes que mitiguen los efectos geopolíticos (CEPAL, 2007).

### Seguridad energética y energías renovables

Es de conocimiento común, que la combustión de fuentes fósiles para generación de energía térmica y eléctrica produce gases de efecto invernadero (GEI), estos a su vez contribuyen al detrimento ambiental y al cambio climático. Según el informe

que prepara la AIE para el 2015, la producción y uso actual de energía no es compatible con los requisitos ambientales internacionales, no es sostenible, ni pasa la prueba de seguridad energética. En el Informe del 2013, la AIE establece que el sector energético constituye las dos terceras partes de las emisiones de estos gases y por tanto sobre este mismo recae la responsabilidad de alcanzar o no los objetivos del cambio climático (AIE, 2013). Los países industrializados son grandes contribuyentes de GEI y requieren de controles y regulaciones más estrictas y mecanismos de desarrollo limpio que promuevan el uso de energías menos contaminantes. Según De Juana (2003) los imperativos de las políticas de energía deben centrarse en el abastecimiento y suministro de energía a los usuarios finales individuales e industriales, a bajo costo y competentes con el desarrollo sostenible a nivel local y global.

El bloque de los países en desarrollo compuesto por Brasil, China, India, Rusia y Sudáfrica promete doblar el consumo energético actual a lo que contribuye el crecimiento demográfico el cual aumentó 1500 millones de habitantes en los últimos 20 años. Todo lo anterior supone contar con fuentes energéticas seguras que puedan abastecer la demanda de manera limpia y con recursos energéticos ilimitados (Checa & De la Cruz, 2015).

Los combustibles fósiles entrelazan tres temas globales preponderantes, la seguridad energética, el desarrollo económico y el cambio climático. Alcanzar el abastecimiento de energía para el presente y el futuro y, eliminar la dependencia de los combustibles fósiles es un objetivo a cumplir a largo plazo, la economía crece motivada por el aumento industrial, y éste a su vez se relaciona directamente con el consumo de energía el cual en su mayor proporción depende actualmente de los combustibles fósiles que no son compatibles con el cambio climático (Chichilnisky, 2008). El desarrollo industrial es clave para fortalecer la economía pero también fundamental para mitigar el impacto ambiental, mientras los sectores industriales y el transporte sigan consumiendo hidrocarburos la descarbonización global será inalcanzable, en este sentido se deben promover procesos eficientes y tecnologías basadas en fuentes limpias para asegurar la energía ilimitada logrando independencia energética y mantener el incremento de la temperatura en 2°C.

La implementación de alternativas como generación de energía a través de ciclo combinado de gasificación integrada, cogeneración y energías renovables entre otras, han ayudado a paliar el impacto ambiental y las externalidades que trae consigo el uso de hidrocarburos como fuente primaria de energía (CEPAL, 2007). En cuanto a lo referente a las energías renovables, su proliferación paulatina en los países que conforman América Latina y del Caribe, se debe a los altos precios de inversión, lo que las hace menos competitivas en el contexto actual del mercado energético, es por esto que el rol gubernamental como ente de apoyo financiero a través de mecanismos tributarios e incentivos juega un factor decisivo para promover la implementación y participación de estas fuentes no convencionales en la matriz energética (CEPAL, 2007). El desafío entonces requiere de respuestas que favorezcan la preferencia por tecnologías más limpias mediante incentivos adecuados desde la etapa de evaluación de las inversiones. A la par de lograr una significativa reducción de costos de dichas tecnologías mediante su masificación, y a través de la promoción de investigación y financiamiento adecuados tratándose de desarrollos nacionales (CEPAL, 2007).

Un prospecto más interesante lo muestra el último informe de la AIE (2015), en el cual se establece que las energías limpias representaron en el 2014, casi la mitad de la nueva capacidad de generación de potencia impulsada por países como Estados Unidos, China, Japón y Alemania. Esto implica que a nivel global, se puede establecer un avance significativo en las tecnologías apropiadas que permitan mitigar el carbono. Según el mismo informe, la economía mundial ya no crece al mismo tiempo que las emisiones de GEI, para el 2014 mientras la economía creció un 3% y el $CO_2$ se

mantuvo constante, fenómeno que no se presentaba desde hace 40 años y que brinda un gran alivio al reducir el crecimiento correlacionado que existía entre estas dos variables.

La caída de los precios del petróleo en éste último año ha afectado la seguridad de abastecimiento energético a mediano plazo, dado que actualmente los países demandantes de energía y en desarrollo podrán importarla a menor costo, lo que podría atrasar el desarrollo y evolución de la industria de las energías renovables. Lo anterior se evidencia en las bajas que han sufrido las acciones de la industria solar en Estados Unidos y China cuyas estadísticas muestran una reducción del 40% de acuerdo a lo establecido por el índice Bloomberg Intelligence Global Large Solar, que reúne a 21 compañías del sector, en junio de 2014 (Paredes, 2015). Aunque dichas estadísticas proporcionan un desalentador panorama, se ha encontrado que las inversiones en energías limpias en éste último año se han incrementado en un 16% con respecto al 2013, lo que indica que la inestabilidad de los precios del petróleo aún no ha generado un impacto significativo en el desarrollo tecnológico de éstas teniendo como excepción los biocombustibles los cuales redujeron drásticamente su inversión debido a la dependencia que tienen con los precios de la gasolina (Paredes, 2015).

Pese a las deficiencias que tienen la implementación y utilización de tecnologías de fuentes limpias en los países de menor desarrollo, éstas mitigarán el impacto ambiental en los países industrializados y en desarrollo y proporcionarán la seguridad energética del futuro al provenir de recursos naturales ilimitados. Según Delgado (2004) la fuerza del viento, la radiación solar, la biomasa, la energía geotérmica, la energía potencial y cinética del agua, se renuevan continuamente y es por eso que se denominan como energías renovables las cuales juegan un papel relevante para abastecer energía limpia para las presentes y futuras generaciones. Se ha establecido que para el 2035, las energías renovables formarán la mitad del incremento de la generación de energía eléctrica mundial y las fuentes solar fotovoltaica y eólica proporcionarán el 45% de éste incremento (AIE, 2013), esto brinda un panorama alentador desde el punto de vista que en la medida en la que se van implementando en mayor proporción, las tecnologías asociadas a la generación de energía irán reduciendo costos y con ello habrá más apertura hacia los países de Latinoamérica.

**Tipología de las tecnologías de energías renovables para la industria**

Dentro de las ventajas que representan el uso de energías renovables, se encuentran; son recursos inagotables, tienen una amplia distribución geográfica, son diversas, tienen un bajo impacto ambiental, poseen capacidad para generar trabajo y su capacidad para ser explotada en zonas no interconectadas a la red de energía (Delgado, 2004). En el 2010, la inversión en energía solar en China, produjo cerca de medio millón de empleos en el sector energético y las proyecciones indican que en España y Alemania podrían generar de 500,000 a 600,000 empleos para el 2030. Se espera que dentro de las externalidades positivas se pueda obtener una mejor infraestructura de servicios en zonas rurales para los habitantes al reducir las emisiones de carbono (World Energy Council and University of Cambridge, 2014).

Actualmente son varias las tecnologías que se están implementando para aprovechar las fuentes de energía renovable, y con grandes aplicaciones tanto a nivel residencial como industrial, dentro de ellas se encuentran:

a. **Tecnologías Fotovoltaicas**: utilizan celdas solares fabricadas a partir de materiales semiconductores capaces de convertir la radiación solar en energía eléctrica. Este tipo de tecnologías son útiles sobre todo para comunidades rurales donde es difícil el acceso de la red eléctrica nacional. Alrededor de este tema se están realizando varias investigaciones para mejorar la eficiencia de estas celdas y reducir las barreras que actualmente existen para la implementación en países en

desarrollo. Las actuales tecnologías utilizan silicio para obtener celdas de mayor eficiencia, sin embargo existen tecnologías prometedoras con celdas solares de películas delgadas basadas en materiales como CdTe y el $CuInGaSe_2$ en contacto con el CdS, el cual es utilizado como la llamada capa ventana. El primero de éstos ha logrado aumentar la eficiencia en un 16.5%, sin embargo en los últimos años solo ha logrado incrementarla en un 1%. El segundo ha llegado a un 19.9% de eficiencia, no obstante, su tecnología aún debe seguir evolucionando para poder obtener producciones a escala industrial y eficientes (Zayas *et al.,* 2011). En cuanto al uso de la energía solar de paneles fotovoltaicos (Figura 1) a nivel mundial, Europa es el mayor productor con una participación del 58% al 2013, año en el que la capacidad instalada de esta tecnología era de 140 GW. China ha logrado ocupar un gran posicionamiento teniendo 18MW de capacidad instalada superando a Italia. En Europa el liderazgo se encuentra distribuido entre Alemania, Italia, España y Francia (REVE, 2014). La mayor central fotovoltaica mundial está en Portugal con una potencia instalada de 62MWp la cual evita la producción de 60.000 t anuales de $CO_2$. (Hidalgo, 2015)

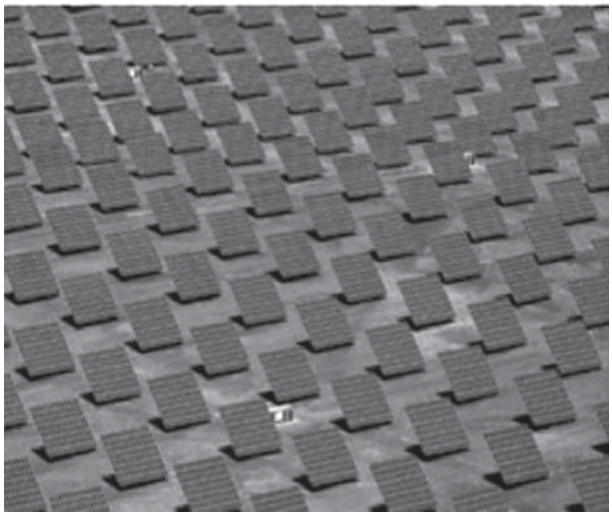

**Figura 1.** Paneles Fotovoltaicos, Amareleja-Portugal.

Fuente: Eiffage (2009)

En 2010, se construyó un avión conteniendo 12.000 células solares, distribuidas en 200 $m^2$, capaces de suministrar la energía suficiente para que la aeronave despegue, dicho avión tiene un tamaño similar al de un Boeing 747 y pesa solamente 1.600 kg, menos que un automóvil, con esto se demuestra que la energía solar no tiene límites y que en la medida en que los costos de las celdas solares disminuyan su aplicaciones se incrementarán (Camino al futuro con el solar impulse, 2010).

b. **Tecnologías Termosolares:** Otro tipo de tecnologías que utilizan la radiación solar son las térmicas solares, las cuales transforman la energía proveniente del sol en energía térmica que se transfiere a un fluido para su aprovechamiento en diferentes aplicaciones tales como calefacción de agua, cocimiento de alimentos tanto a nivel residencial como industrial, generación de energía eléctrica y otras tecnologías que aprovechan la radiación solar directa, como secado de alimentos, fundición de metales, y nuevas aplicaciones en investigación de materiales para el cocimiento de cerámicas. Las tecnologías más avanzadas utilizan colectores solares para el calentamiento de agua (Mejía, 2007) y concentradores solares con seguimiento para la generación de energía eléctrica o aplicaciones solares de alta temperatura como en el caso del horno en Odeillo en los Pirineos Orientales en Francia, el cual puede alcanzar temperaturas de hasta 3.500 °C (Warthon, Ayala, Olarte & Rubio, 2010). Dentro de las investigaciones que se adelantan para el uso de hornos solares para uso industrial se encuentran el diseño y construcción de un prototipo de un sector de horno de alta temperatura, llevado a cabo en Perú, utilizado para el procesamiento de materiales de construcción y el estudio de materiales cerámicos, para este fin diseñaron un concentrador solar el cual durante los ensayos permitió alcanzar elevadas temperaturas hasta el punto de incendiar un trozo de madera (Warthon *et al.,* 2010).

En el sector industrial, la energía solar térmica tiene un gran potencial de innovación y desarrollo, es capaz de proveer de forma natural y económica parte del calor que la industria necesita, en aplicaciones de baja temperatura en procesos industriales son utilizadas donde se requieren volúmenes grandes de agua como el caso de la industria textil, procesos químicos, limpieza y desengrasado de automóviles, limpieza y desinfección de botellas y otros envases, industrias alimenticias, industria pesquera (Seminario, 2004), mataderos y suelo radiante para granjas o invernaderos (SEDIGAS, 2013). Otras investigaciones recientes muestran el empleo de la energía solar a través de fotocatalizadores adecuados para eliminar los contaminantes de aguas residuales, ya sea para industrias textiles (Garcés & Peñuela, 2007) o laboratorios químicos (Garcés & Peñuela, 2009), también se emplea la energía solar para refrigeración por absorción en una investigación realizada donde se acopla a un sistema de disipación geotérmica (Monné, Alonso & Palacín, 2011).

c. **Tecnologías Eólicas** La evolución que han tenido las tecnologías eólicas ha sido bastante grande. La energía eólica aprovecha la energía proveniente de los vientos para producir energía mecánica o eléctrica. Las investigaciones apuntan al diseño de diferentes turbinas utilizando la mecánica de fluidos para poder aumentar la eficiencia, dentro de las cuales se encuentran turbinas basadas en el efecto *Venturi* que les permite ser usadas en lugares urbanos de bajas velocidades y con generación de energías mayores. Por otro lado, se encuentran las torres solares que utilizan la convección del aire a través del efecto invernadero generado en la base de una torre de grandes dimensiones para generar electricidad, desafortunadamente son muy grandes las cantidades de terrenos requeridas y bajas las potencias obtenidas. En los años ochenta, las prospectivas de desarrollo de estas tecnologías crecieron debido a la evolución en áreas interdisciplinares del conocimiento como lo son electrónica, sistemas de información y comunicación, nuevos materiales, mejores herramientas computacionales de diseño, entre otros (Pinilla, 2008).

Los aerogeneradores actuales se basan en dos tipos, los de eje horizontal que son los más usados debido a su gran eficiencia y los de eje vertical con menor potencial de energía producida. Cada una de estas tecnologías tiene variaciones y ventajas así como desventajas, por ejemplo, los aerogeneradores de eje horizontal son eficientes pero requieren mayor área de instalación y de sistema de direccionamiento para optimizar su funcionamiento, producen ruido, además de ser peligroso para las aves. Los aerogeneradores de eje vertical, son más silenciosos, pero menos eficientes, no requieren de sistemas de direccionamiento ya que el viento puede atravesarlos desde cualquier dirección, son menos peligrosos para las aves y no producen ruido (Hidalgo, 2015). Dentro de las recientes tecnologías que aprovechan el viento se cuentan con aquellas que no usan turbinas, las cuales utilizan materiales piezoeléctricos combinados con energía eólica para producción de electricidad, dentro de estos prototipos innovadores se encuentra el desarrollado en Suecia en el laboratorio Belatchew Labs donde se realizó el revestimiento del edificio Söder Torn (Torre Sur) ubicado en el barrio Södermalm de Estocolmo (Figura 2), con fibras piezoeléctricas formadas por un núcleo piezocerámico cubierto de un polímero flexible en forma de caña o pajita capaces de transformar el movimiento del viento en energía eléctrica sin la necesidad de un generador. Este sistema tiene ventajas ya que es silencioso, no tiene problemas de intervención con el entorno y funciona a bajas velocidades del viento ya que una simple brisa permite la ondulación de dichas fibras. (Cámara de la industria de la Construcción- Delegación Yucatán, 2013)

**Figura 2.** Edificio Söder Torn (Torre Sur) con fibras piezoeléctricas (Estocolmo, Suecia)

Fuente: Agencia-EFE, 2013

d. **Tecnología de Biomasa:** la energía que se puede obtener a partir de la biomasa ha tenido desde la antigüedad innumerables aplicaciones, actualmente presenta un reto como energía renovable ya que su ciclo de producción no es totalmente sostenible. Las tecnologías actuales para su transformación utilizan procesos mecánicos, termoquímicos y biológicos. La bioenergía comprende el análisis de la biomasa, los biocombustibles y la bioenergía en sí (Hidalgo, 2015). Los productos obtenidos son biocombustibles tales como el etanol, de origen orgánico o no, a través de los cuales se puede generar energía térmica y/o eléctrica. Los residuos sólidos obtenidos del agro se están utilizando para procesos de calefacción con calderas y en cogeneración muy utilizado en las azucareras (Mena & Pérez, 2003). Los gases producidos a partir de las excretas de animales son utilizados para generar electricidad es el caso de Nestlé en China (2004-2007), la cual promovió la producción de metano a partir de estiércol del ganado en las granjas sus proveedores utilizando biodigestores con el objeto de que fuera utilizado para la cocina, calefacción y producción de electricidad (Geiner, Stamp & Pfitzer, 2013). Actualmente las investigaciones apuntan a encontrar plantas a través de las cuales se puedan obtener biocombustibles con alto contenido calórico, al respecto en Cuba se están trabajando aplicaciones en granjas energéticas que incluyen tanto plantas como residuos en las cuales se realizan estudios como la evaluación morfológica, productiva y química de germoplasma de plantas oleaginosas no comestibles con potencial para producir biodiesel, etanol y otros productos; el beneficio y extracción de aceite de semillas de Jatropha; la caracterización físico-química de dicho aceite; la producción de biodiesel y sus coproductos; la producción de biogás a partir de excretas y de bioproductos y bioabonos, con los efluentes de biodigestores; la gasificación de biomasa leñosa para generar electricidad; la caracterización y clasificación de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía (Suarez *et al.,* 2011). Por otro lado también son utilizadas algas y microorganismos para el tratamiento de aguas residuales como es el caso de la industria láctea (Bedoya & Sousa, 2009), y para la generación de hidrógeno otro combustible sustituto de fósiles (Bedoya, Castrillón, Ramírez, Vásquez & Arias, 2008).

e. **Tecnología Geotérmica:** otro tipo de energía prometedora es la energía geotérmica, la cual utiliza el calor proveniente de la tierra para la generación de calor y energía eléctrica. Ésta energía ha sido utilizada como vapor de agua y agua caliente para procesos industriales, generación de electricidad y de calefacción. Esta tecnología está muy avanzada sobre todo para la generación de electricidad, sin embargo, es difícil encontrar los yacimientos, las investigaciones actuales conllevan al avance de técnicas de explotación con el objeto de reducir los costos de la misma y obtener mayor éxito en la exploración, lo que ha puesto una barrera para su crecimiento. Las tecnologías geotérmicas se realizan en los embalses geopresurizados, sistemas de rocas calientes secas y cuerpos de magma (Barbier, 1997). Al respecto, los nuevos avances en explotación muestran sistemas geotérmicos mejorados (EGS), en general, estos sistemas (Figura 3) son yacimientos no naturales donde la roca tiene baja permeabilidad y flujo nulo de fluidos

(IEA, 2011), sin embargo, los nuevos estudios permiten la perforación abriendo zonas de estimulación múltiple en un único pozo en el área de Newberry, ubicado en Bend, Oregón, Estados Unidos; en este proyecto, se abren pozos profundos en rocas fracturadas calientes y, mediante la inyección de agua fría, éste fluido se calienta al contacto permitiendo ser usado para la generación de energía, la exploración permite que el agua sea estimulada desde una zona a otra, reduciendo los costos de explotación en un 50% (Rodríguez, 2014). En la siguiente figura se muestra el funcionamiento de una planta de generación de energía utilizando EGS.

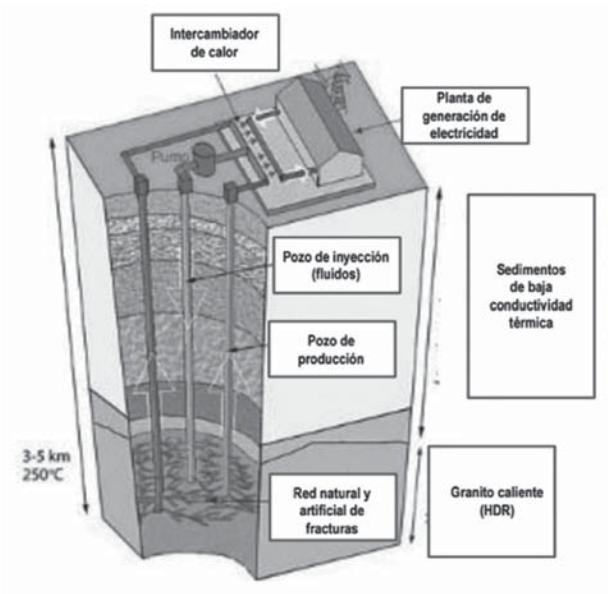


**Figura 3.** Sistema de generación EGS.

Fuente: Santoyo, 2012.

Los países de mayor potencial de explotación de este recurso son Estados Unidos, Indonesia, Japón y Filipinas entre otros. Estados Unidos cuenta con una potencia instalada de 2687 MWe en 2007 (IDEA, IGME, 2008) y aún sigue investigando para implementar el mayor número de energías renovables para abastecer la demanda energética del país al ser una de las grandes potencias económicas. Los recursos geotérmicos naturales por lo general provienen de volcanes, aguas termales y géiseres, pero según Chamorro (2009), para que exista un yacimiento sólo se requieren zonas geológicas a temperatura anormalmente alta, a una profundidad accesible y la existencia de agua en esa localización. Dentro de las tecnologías que se usan para la generación de energía eléctrica se encuentran vapor seco, evaporación flash y ciclo binario (Chamorro, 2009). Una investigación realizada en Colombia muestra aplicaciones de la energía geotérmica de baja temperatura en pozos petroleros para la generación de electricidad a través del ciclo orgánico de Rankine utilizando recursos geotérmicos de baja temperatura, en esta investigación se encontró que un equipo comercial de 280 KW podría generar 1165MWh (Cuadrado, Colorado, Cobos & Vásquez, 2015), energía que puede aprovecharse y promoverse en éste país.

f. **Tecnologías en Energía Hidroeléctrica**: este tipo de tecnologías aprovecha la energía cinética y potencial de los ríos a través de turbinas hidráulicas para la generación de energía mecánica y más comúnmente para generar energía eléctrica. Las nuevas tecnologías se enfocan a la producción en centrales microelectricas y picoeléctricas que mitigan el impacto ambiental y social, producido por los grandes hidroeléctricas. Este tipo de tecnologías es muy avanzada y común, sobre todo en aquellos países donde las condiciones geográficas permiten el uso de los efluentes hídricos. Las investigaciones actuales conllevan al mejoramiento de la eficiencia del sistema, simulaciones para el pronóstico probabilístico en la evaluación de riesgos (Domínguez, 2005) y optimización de sistemas de control.

**Las energías renovables en el contexto global, local y regional**

Hoy en día se realizan importantes investigaciones para mejorar la eficiencia y competitividad de la energía solar, eólica, geotérmica y de biomasa. En el caso de la energía eólica, el sector empresarial ha tenido gran influencia para su propagación y desarrollo, para esto se ha contado con voluntad política a través de regulaciones que contribuyan a la implementación, la investigación y desarrollo para permitir la creación y transferencia del

conocimiento y los empresarios que aprovechan los factores anteriores para convertirlos en proyectos socialmente útiles (CEPAL, 2007). La energía solar tiene un alto costo de inversión lo que la hace poco competitiva, al parecer las aplicaciones de mayor interés y crecimiento se centran en concentración solar o termoeléctrica de acuerdo a los proyectos obtenidos por las empresas más dinámicas. En el caso de los biocombustibles, éstos se han vuelto un excelente competidor de los derivados del petróleo, en Brasil se ha tenido un gran avance y en el 2007 representaba el 50% de la producción total de bioetanol y era el mayor exportador de estos combustibles (CEPAL, 2007). Este mercado ha sido impulsado por los bajos costos de producción y la aparición de vehículos que utilizan etanol y gasolina. En la Unión Europea el biodiesel es el biocombustible de mayor uso, en tanto China e India son productores de bioetanol. Es importante tener en cuenta que las tecnologías que permiten su procesamiento y el uso del suelo pueden generar un gran impacto ambiental y social, el cual de no ser bien controlado puede superar los beneficios que trae consigo esta tecnología. (CEPAL, 2007).

A nivel global, la energía renovable con mayor impulso en el crecimiento es la energía eólica la cual ha reducido sus precios notablemente mientras su eficiencia se incrementa. Las tecnologías de mayor financiación se centran en la eólica y la solar, el resto alcanzan apenas un 15%. Los costos de la energía eólica mar adentro, han caído un 15%, los de las celdas solares cristalinas un 53%, desde el 2009, incrementando así la competitividad de estas energías (UPME, 2015)

En países industrializados como Estados Unidos y aquellos de la Unión Europea se cuenta con políticas que apoyan el uso de energías como fuente de energía eléctrica y en algunos casos permiten la competencia libre para que el usuario pueda seleccionar el tipo de energía requerida a través de incentivos de mercados verdes (CEPAL, 2007)

En América Latina el crecimiento de las energías renovables ha sido lento, eso supone que dependiendo de las políticas adoptadas por cada país, en los próximos años pueda darse una apertura para inversión e implementación de energías renovables. Al 2007, la participación de estas energías en la región es del 28.9% en la oferta total de energía primaria, lo cual resulta relevante al compararla con la participación mundial de apenas 13.1% para ésta misma fecha. (CEPAL 2007)

En Colombia, los sistemas fotovoltaicos actualmente cuentan con un estimado de 9 y 11 MWp instalados en sistemas independientes o aplicaciones profesionales, para la energía eólica el parque eólico Jepírachi es la aplicación más relevante, con 19.5 MW de generación de energía eléctrica, haciendo excepción de la energía hidráulica que constituye el 64% de la generación. Ante esta situación, la Ley 1715 de 2014 busca promover la inclusión de este tipo de tecnologías. (UPME, 2015). Esta ley regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, siendo su objeto establecer los mecanismos legales y tributarios que contribuyan al desarrollo e implementación de fuentes renovables de energía no convencionales (en Colombia la energía proveniente de ríos y represas es convencional) y que se puedan integrar al sistema energético nacional para, mitigar los gases de efecto invernadero (producidos por el uso de hidrocarburos como fuente primaria), generar alternativas de desarrollo económico sostenibles, y adquirir energía segura tanto para zonas interconectadas como para las no interconectadas al sistema eléctrico nacional. Dicha ley establece los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano, reduciendo la renta, exclusión del IVA, exención del pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos con FNCE (fuentes no convencionales de energía). Esta norma por tanto promueve el uso y desarrollo de tecnologías para generación de energía a través de recursos como el sol, viento, biomasa, geotermia, etc. (Congreso de Colombia, 2014).

## Conclusiones

La seguridad energética es un proceso de revisión y vigilancia de todos los países, lo cual se enmarca dentro del desarrollo sostenible y que ha obligado a las diferentes sociedades a incluir en su política exterior el tema de los recursos energéticos. Esto obedece a un desarrollo y planeación desde los ámbitos: educativo, cultural y ambiental, pues el uso desmesurado de los hidrocarburos ha provocado efectos negativos en los ecosistemas y ha potenciado el impacto humano en forma exponencial, surgiendo así una complejidad y un caos que colisiona con la naturaleza.

Las naciones deben buscar la optimización de las energías renovables desde los ámbitos: local, regional y global; para ello, deben propender por el uso adecuado en los procesos de legislación.

El futuro de las energías renovables está dado por la rentabilidad, ya que para que el uso de éstas siga creciendo, deben seguir atrayendo capital, y esto significa que los inversores deben ver una rentabilidad competitiva. Ofrecer una propuesta económica atractiva no consiste únicamente en optimizar el precio de la compra inicial, sino considerar los costos totales durante todo el ciclo de vida útil del equipo y los sistemas; esto incluye el servicio, la fiabilidad y la ausencia de paradas no programadas.

Otra recomendación importante es la integración de la energía renovable en la red, ésta tiene que integrar fuentes de generación intermitentes e incluso imprevisibles y también debe (en especial en el caso del viento) transportar electricidad desde regiones en las cuales la red no está tradicionalmente preparada para tales cantidades de energía.

## Literatura citada


1. AIE, Agencia Internacional de Energía (2015). Energy and Climate Change. World Energy Outlook. Recuperado de: http://www.worldenergyoutlook.org/
2. AIE, Agencia Internacional de Energía (2013). World Energy Outlook. Recuperado de: http://www.worldenergyoutlook.org/
3. Agencia Internacional de Noticias EFE. (2013). Strawscraper, edificio ecologico y autosuficiente.
4. Barbier, E. (1997). Nature and technology of geothermal energy: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1(*1), 1-69.
5. Bedoya, O. A. & E Sousa, L. S. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 7*(2), 24-31.
6. Bedoya, A., Castrillón, J. C., Ramírez, J. E., Vásquez, J. E. & Arias, M. Producción biológica de hidrógeno: una aproximación al estado del arteDyna, 75(54), 137-157. Recuperado de: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615415
7. Cámara Mexicana de la Industria de la construcción-Delegación Yucatán (2013). Innovación energía piezoeléctrica. *Constructiva, revista bimestral, 244* Pp.33-32. Recuperado de: http://issuu.com/cmicyuc/docs/constructiva_novdic13_lq/35
8. Camino al futuro con el Solar Impulse. El avión que sólo emplea energía solar. (Spanish). (2010). *Transporte Desarrollo y Medio Ambiente, 30(*1), 62-64.
9. CEPAL (2007). Energía, desarrollo industrial, contaminación del aire y la atmósfera y cambio climático en América Latina y el Caribe: nuevas políticas, experiencias, mejores prácticas y oportunidades de cooperación horizontal. Recuperado de http://archivo.cepal.org/pdfs/2007/S2007344.pdf
10. CEPAL (2007). La seguridad energética de América Latina y el Caribe en el contexto mundial. División de Recursos Naturales e infraestructura. ISBN: 978-92-1-323137-1. Recuperado de: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6327/S0700966_es.pdf?sequence=1
11. Chamorro (2009). Energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos. Estado actual perspectivas a nivel mundial. Tecnología energética. *Revista Dyna 84* (1), 44-51. Recuperado de: http://www.revistadyna.com/Documentos/pdfs%5C200901feb%5C2222DYNAINDEX.pdf
12. Checa, F. E. & De La Cruz, O. E. (2015). Potencial Natural para el Desarrollo Fotovoltaico en Colombia. Libros Editorial UNIMAR. Recuperado de: http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/libroseditorialunimar/article/view/706
13. Chichilnisky (2008). Seguridad energética, desarrollo económico y calentamiento global Desafíos de corto y largo plazo. *Boletín Informativo del Techint, issue no. 345*, pp. 53-76, April, 2008
14. Congreso de Colombia (2014). LEY 1715 DE 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
15. Cuadrado, Colorado, Cobos, & Vásquez. (2015). Estudio de factibilidad para la implementación de un ciclo orgánico de Rankine en pozos de extracción de petróleo. (Spanish). *Revista EIA, 12*(23), 137-148. doi:10.14508/reia.2015.12.23.137-148
16. Delgado (2004). Energías renovables, una alternativa racional. *Revista Cuenta y Razón. España Número 135.* ISSN. Versión en internet: 1989-2705. Recuperado de: http://www.cuentayrazon.org/revista/pdf/135/Num135_003.pdf

17. De Juana, J. M. (coord.) (2003), Energías Renovables para el Desarrollo. Paraninfo - Thomson Learning.

18. Domínguez, E. (2005). Pronóstico probabilístico de afluencias para la evaluación de riesgos en embalses hidroeléctricos. *Avances en recursos hidráulicos, 12,* 171-182.

19. Eiffage Energy. (2009). Planta solar fotovoltaica Amareleja-Portugal. Recuperado de: http://energia.eiffage.es/project/planta-solar-fotovoltaica-amareleja/

20. Garcés & Peñuela (2007). Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar. (Spanish). *Revista Lasallista de Investigación, 4*(2), 24-31.

21. Garcés & Peñuela. (2009). Use of sunlight energy to eliminate pollutants in waste water from chemical laboratories. *Producción Más Limpia, 4(*2), 19-29.

22. Genier, C., Stamp, M., & Pfitzer, M. (2013). Responsabilidad social empresarial para el desarrollo de las agroindustrias. Agroindustrias para el desarrollo, 249.

23. Hidalgo, D. B. (2015). Energía y desarrollo sostenible en cuba. *Centro Azúcar, 42(*4), 14-25.

24. International Energy Agency, IEA (2011), Technology roadmap – Geothermal heat and power. International Energy Agency, OECD/IEA, Paris, France, 45 p. Recuperado de: http: /www.iea.org.

25. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (2008). Manual de Geotermia. Madrid, España. ISBN: 978-84-96680-35-7.

26. Mejía (2007). Cambio del sistema de calentamiento de agua empleando calderas por paneles solares y otros procesos de P+L. (Spanish). *Producción Más Limpia, 2*(2), 31-37.

27. Mena, J. B. & Pérez Bermúdez, R. A. (2003). Principales aspectos medioambientales y económicos de la cogeneración en la industria azucarera. *Centro Azúcar, 30*(3), 87-95.

28. Monné, C., Alonso, S. & Palacín, F. (2011). Evaluación de una Instalación de Refrigeración por Absorción con Energía Solar. (Spanish). *Información Tecnológica, 22*(3), 39-44. doi:10.4067/S0718-07642011000300006

29. Paredes (2015). How do the falling oil prices affect renewable energy? Hablemos de Cambio climático y sostenibilidad. Banco Internacional de desarrollo, BID. Recuperado de: http://blogs.iadb.org/cambioclimatico/2015/05/01/

30. Pinilla (2008). El poder del viento. *Revista de Ingeniería, 28*, 64-69. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. rev.ing. ISSN. 0121-4993

31. Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico (REVE). (2014). Energías renovables la energía solar fotovoltaica llega a 136,7 GW en 2013 con otros 37 GW. Recuperado de http://www.evwind.com/2014/03/25/energias-renovables-la-potencia-mundialde-energia-solar-fotovoltaica-alcanza-los-137-gw/

32. Rodríguez (2014). Los principales avances e innovaciones tecnológicas en el campo de la energía del último año. Energía y electrónica. Fieras de la energía. Recuperado de: http://www.fierasdelaingenieria.com/category/electronica/

33. Santoyo, E. (2012). Los sistemas de roca seca caliente: una fuente de energía renovable oportuna a considerar en el programa de explotación de la geotermia. In XXII Congreso Nacional de Geoquímica (Vol. 18, No. 1, p. 9).

34. SEDIGAS (2013). Guía sobre aplicaciones de la energía solar térmica. Recuperado de: http://www.sedigas.es/dochome/Guia_solar_Sedigas.pdf

35. Seminario, M. G. (2004). Un método simple para la recolección de energía solar: una aplicación en procesamiento pesquero. (Spanish). Boletín de Investigación, 657-63.

36. Suárez, J., Martín, G. J., Sotolongo, J. A., Rodríguez, E., Savran, V., Cepero, L. & García, A. (2011). Experiencias del proyecto BIOMAS-CUBA. Alternativas energéticas a partir de la biomasa en el medio rural cubano. *Pastos y Forrajes, 34*(4), 473-496.

37. UPME (2009) Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN%202010%20VERSION%20FINAL.pdf

38. UPME (2015). Plan Energético Nacional: Colombia, Ideario Energético 2050. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

39. Warthon, Ayala, Olarte y Rubio (2010). Diseño y construcción de un prototipo de un sector de horno solar de alta temperatura. IV Conferencia Latinoamericana y XVII simposio peruano de energía solar. Recuperado de: http://perusolar.org/17-spes-ponencias/09-Acumulacion/WarthonAscarzaJulio/DISENO_Y_CONSTRUCCION_DE_UN_PROTOTIPO_DE_UN_SECTOR_DE_HORNO_.pdf

40. World Energy Council and University of Cambridge (2014). Cambio Climático: Implicaciones para el Sector Energético. Hallazgos Claves del Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. Recuperado de: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/06/Publicacion-Cambio-Climatico-implicaciones-para-el-sector-energetico-IPCCC-AR5.pdf

41. Zayas-Bazán, P. G., Contreras-Puente, G., Santana-Rodríguez, G., Hernández, E., Calzadilla, O., Gutiérrez Z-B, K., & De Melo, O. (2011). CdTe depositado por sublimación isotérmica a corta distancia en celdas solares de CdS/CdTe. (Spanish). *Revista Cubana de Física, 28*(1), 39-44.


## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 17 de febrero de 2015
Aceptado: 06 de abril de 2015

# Valoración de impactos ecológicos por minería de oro en río Guabas, Valle del Cauca, Colombia

# Assessment of ecological impacts by mining of gold in Guabas River, Valle del Cauca, Colombia

## *Avaliação dos impactos ecológicos de mineração de ouro do rio Guabas, Valle del Cauca, Colômbia*

**Diego Esteban Gamboa García**

Ingeniero Agrícola

Facultad de Ingeniería y Administración. Grupo Ecología y Contaminación Acuática.
Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Colombia.

degamboag@unal.edu.co

**Resumen**

La minería de oro es una actividad que se ha desarrollado por siglos en diferentes territorios en el planeta. Sin embargo, la minería ha generado impactos ambientales afectando a la sociedad, debido a que comprometen la cantidad y calidad de los servicios ecosistémicos y en consecuencia, la calidad de vida de la población mundial. Para medir el nivel de afectación sobre los componentes del ambiente, se revisaron los métodos clásicos para Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos mineros y se tomó como base la matriz de Leopold desarrollada por el Servicio Geológico del Departamento del Interior de los Estados Unidos, para valorizar los impactos de actividades mineras. En esta investigación se revisaron investigaciones publicadas con las palabras clave "matriz cualitativa" y "minería de oro", tanto en inglés como en español, desde el año 2000 al 2011, en proyectos mineros realizados en países en vía de desarrollo. Posteriormente, se extrajeron y sistematizaron, las metodologías clásicas y sus variaciones y los componentes ecológicos y actividades del proyecto comunes en los estudios. Las metodologías usadas fueron cualitativas. Adicionalmente, se desarrolló la metodología Valor del Índice Ambiental (VIA) para valorizar los impactos ecológicos de la minería de oro en la cuenca del río Guabas, Valle del Cauca, Colombia. Se encontró que el impacto promedio de la actividad minera desarrollada en el río Guabas fue considerado severo, a diferencia del impacto global revisado en la literatura, que fue considerado como moderado, en la mayoría de los casos.

**Palabras clave:** Estudios Impacto Ambiental, metodologías cualitativas, extracción minera

**Abstract**

Gold mining is an activity that has been developed for centuries in different territories on the planet. However, mining has generated environmental impacts affecting society, because they affect the quantity and quality of ecosystem services and therefore the quality of life of the world population. To measure the degree of affectation on the components of the environment, the classical methods for studies of environmental impact (EIA) for mining projects were reviewed the matrix of Leopold developed by the Geological Service from the Department of the Interior of the United States, was taken as a basis, to value the impacts of mining activities. In this research published articles with the

keywords “Matrix qualitative” and “mining of gold”, both English and Spanish, from 2000 to 2011, in mining projects carried out in developing countrie were reviewed. Subsequently classical methodologies and their variations and ecological components and common project activities in the studie were extracted and systematized. The methodologies used were qualitative. Additionally, the value of the environmental index (VIA) methodology was developed to value the ecological impacts of gold mining in the basin of the Guabas River, Valle del Cauca, Colombia. It was found that the average impact of mining activity in the Guabas River was considered severe, in comparison to the overall impact reviewed in the literature, which were considered as moderate, in most cases.

**Key-words:** Environmental Impact Assessments, qualitative methodologies, mining extraction

## Resumo

Mineração de ouro é uma atividade que tem sido desenvolvida ao longo dos séculos em diferentes territórios do planeta. No entanto, a mineração tem gerado impactos ambientais que afectam a sociedade, porque eles comprometem a quantidade ea qualidade dos serviços dos ecossistemas e, consequentemente, a qualidade de vida da população mundial. Para medir o nível de impacto sobre componentes do ambiente, os métodos tradicionais para Avaliações de Impacto Ambiental (EIA) foram revistos para projetos de mineração e foi baseado na matriz de Leopold desenvolvido pelo Serviço Geológico do Departamento do Interior dos Estados Unidos, para valorizar os impactos das atividades de mineração. Nesta pesquisa, têm sido revisadas as publicações com as palavras chave "matriz qualitativa" e "mineração de ouro" em Inglês e Espanhol, de 2000 a 2011, em projetos de mineração de países em desenvolvimento foram revistas publicações. Estas foram extraídas para ser sistematizadas suas metodologías clássicas e suas variações e componentes ecológicos e actividades do projeto, comum nos estudos. As metodologias utilizadas foram qualitativas. Além disso, a metodologia Índice de Valor Ambiental (VIA) foi desenvolvido para melhorar os impactos ecológicos da mineração de ouro na bacia do rio Guabas, Valle del Cauca, Colômbia. Verificou-se que o impacto médio da atividade de mineração no rio Guabas foi considerada grave, ao contrário do impacto global revisto na literatura, onde foi considerada moderada, na maioria dos casos .

**Palavras-chave:** Estudos de Impacto Ambiental, metodologias qualitativas, mineração

## Introducción

Los conflictos por la ejecución de los proyectos mineros son principalmente por el territorio (Urkidi, 2010) lo cual ha generado puntos de vista opuestos entre las comunidades locales, los gobernantes, los empresarios y los profesionales ambientales. Por tanto, el objeto de esta investigación es identificar y resumir los impactos ecológicos asociados a la minería de oro y la valoración que tienen en los países en desarrollo. Por otro lado, se pretende aplicar una metodología cualitativa rápida y sencilla de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para las actividades mineras en la cuenca del Río Guabas, Valle del Cauca, Colombia. Finalmente, se realiza una comparación entre la cuenca del río Guabas y la valoración de impactos de minería a escala de los países en desarrollo.

En la minería de metales, Swart & Dewulf (2013) argumentan que la demanda de cobre, zinc, plomo, níquel, molibdeno, oro, plata, paladio y platino, ha aumentado por el desarrollo tecnológico que precisa de estos metales específicos, aunque, su extracción implica grandes volúmenes de roca mineral en todos sus estados. Respecto a esto, el oro ocupa el primer lugar, existiendo un incremento anual de 15 t de material minero por cada kg de

oro obtenido. Sin embargo, el impacto positivo de la minería de metales se relaciona con el factor humano, pues se argumenta la generación de empleo, riqueza y relaciones interindustriales.

La percepción positiva de la minería en la generación de riqueza y empleo para la sociedad es una hipótesis lógica, sin embargo, Pegg (2006), reportó que los países más dependientes de la minería en la contribución a su producto interno tienen menor crecimiento económico y mayor inequidad social. Aun así, el capital trasnacional es una presión externa sobre los depósitos de oro, donde la mayor inversión para la exploración mundial de este metal se ha centrado en los países en desarrollo (Urkidi, 2010). Respecto a esta categoría socioeconómica, Latinoamérica es la región más importante en la exploración mundial de yacimientos de oro, donde en la década de 1995 a 2004, se realizaron en promedio el 26% de estas actividades de exploración (USGS, 2015). Aunque todos los sitios de exploración no se convierten en sitios de extracción de oro, una vez determinado el yacimiento del mineral, se desarrollan una serie de actividades que generan impactos sobre algunos componentes del ambiente. En consecuencia, los países en desarrollo han venido aplicando diferentes metodologías de EIA con el objetivo de definir el alcance, identificación, predicción y evaluación de los impactos de los proyectos mineros, para soportar la toma de decisiones (Cuentas, 2009). El alcance, la identificación, la predicción y la evaluación de los impactos de los proyectos de minería de oro dependen tanto de la escala de extracción y el tipo de yacimiento, como del grado de tecnificación.

En un EIA realizado en la Guyana venezolana, Lozada & Arends, (2000) identificaron las fases de la minería de oro, su escala y sus impactos. Allí se explican de la siguiente manera:

1. Prospección: se determina la presencia del metal y se delinean las áreas de mayor potencial. Se utilizan métodos de sensibilidad magnética donde se generan mapas de contraste.

2. Exploración: se cuantifica el volumen de yacimientos: g de oro/t de material que lo contiene.

3. Explotación: según la productividad de la mina, así mismo se considera la siguiente clasificación de escala: artesanal (menos de 5kg/año), pequeña (5 a 50 kg/año), mediana (50 a 1000kg/año), grande (1 a 10 t/año) y junior (10 a 50 t/año).

4. Procesamiento: consiste en separar el oro del material estéril. Si el oro está en roca, ésta debe ser molida, ocasionando polvo y material particulado, el cual puede afectar las vías respiratorias de los animales terrestres. Se puede procesar con amalgama de mercurio o plantas de cianuro. En el primer proceso, la superficie del oro es mojada y absorbida por el mercurio, siendo un proceso de mojado y no de disolución. El oro se separa de la amalgama por destilación, para ello, los mineros colocan la mezcla sobre una placa metálica y la queman con un soplete. Los impactos ecológicos de esta práctica se relacionan con la liberación de Hg al ambiente, con consecuencias que se mencionarán más adelante. Mientras que las pocetas de cianuro, donde se recupera el 95% del oro contenido, funcionan de la siguiente manera: Se agrega NaCN a un lodo aurífero para producir $NaAu(CN)_2$ que en presencia de Zn genera $Na_2Zn(CN)_4$ y oro libre (Au). Existe una ventaja de esta práctica y es que el cianuro puede ser reciclado hasta en un 90%. Sin embargo, durante las lluvias estas pocetas se desbordan, y el cianuro se mueve hasta los cauces, disminuyendo el pH del agua por su carácter ácido y perjudicando la vida acuática.

En los ecosistemas, los efectos del mercurio pueden ser rápidos o crónicos. Esto debido a la versatilidad del Hg en el ambiente (Harris, Pickering & George, 2003) y a que se puede bioacumular y biomagnificar en la red trófica (Cogua, Campos-Campos & Duque, 2012). En el contexto global, la mirada investigativa sobre los impactos ecológicos por la liberación de Hg, se despertó por la

epidemia en Minamata, Japón; en esta catástrofe del año 1956, la población ingirió sin conocimiento peces contaminados con mercurio en su dieta diaria, lo que generó efectos de toxicidad crónica y letal, tales como trastornos sensoriales, contracción concéntrica del campo visual, casos de ataxia y problemas del habla (Marrugo, Ruiz & Diez, 2013) y se diagnosticaron consecuencias en el funcionamiento cerebral del feto (Corredor, 2013).

En el caso de los impactos sobre la fauna en peces, por ejemplo, se cuenta con un estudio con trucha moteada (*Cynoscion nebulosus*) que demostró que el mercurio causa inflamación intestinal, degeneración tubular y necrosis renal (Adams *et al.,* 2010). Mientras que en aves, entre los efectos por toxicidad con mercurio, se encuentra la afección al sistema nervioso, circulatorio y endocrino, generando un riesgo en la viabilidad de la población (Bowerman, Evans, Giesy & Postupalsky, 1994; Burger & Gochfeld, 2004; Cristol, Mojica, Varian-Ramos, & Watts, 2012; Burger, Jehl y Gochfeld, 2013; Burger, 2013) y un amplio rango de efectos en la reproducción, incluyendo bajo peso del huevo, malformaciones en el embrión, detrimento y alteraciones en el crecimiento , menos sobrevivencia de los polluelos, así como daños nerviosos y esterilidad (Burger & Gochfeld, 2004).

La minería de oro poco tecnificada durante la fase de preparación, tiene la amalgamación del oro con mercurio, como una de las actividades que genera mayores impactos sobre los componentes ambientales, en lo que coinciden diferentes EIA. La situación se agudiza, debido a que la minería de oro es una de las principales fuentes de Hg en el ambiente (Olivero, Johnson & Arguello, 2002; Marrugo, Lanz & Benítez, 2007), pues del total del mercurio usado para separar el oro del resto de material, una parte se pierde por vertimiento y otra parte en forma de vapor durante la quema de la amalgama. Respecto a esto, Ogola, Mitullah & Omulo (2002) encontraron que se liberan al ambiente 1.3 partes de Hg por cada parte de oro producido.

## Metodología

***Valoración cualitativa promedio de los impactos por minería de oro en los países en desarrollo***

Se consultaron en bases de datos investigaciones publicadas, con las palabras clave “Matriz cualitativa” y “Minería de oro”, tanto en inglés como en español, en países en vía de desarrollo, desde el año 2000 hasta el 2011. Posteriormente, se extrajeron y sistematizaron, tanto las metodologías clásicas y sus variaciones, como los componentes ambientales y las actividades del proyecto, comunes en la mayoría de los estudios. Los componentes ambientales que se consideraron fueron, Suelo, Aire, Agua, Vegetación y Fauna. Cada componente tuvo una valoración general extraída del estudio (Tabla 1) y se realizó una valoración total de los componentes impactados en los países en desarrollo, según la bibliografía consultada. Además, se reportaron los estudios en los que se identificaron las actividades de importancia relacionadas con el uso de Hg en la extracción del oro. También se analizó si los estudios de caso donde se desarrollaron los EIA, tenían impactos previos y cuál era su naturaleza.

***Tabla 1.*** *Valoración general de los impactos sobre el componente ambiental, extraída de cada estudio de caso*

| Valoración general | Significado extraído del estudio de caso |
|---|---|
| -1 | Se identificó el impacto sobre el componente y su valoración fue negativa |
| 1 | Se identificó el impacto sobre el componente y su valoración fue positiva |
| 0 | Se identificó el impacto sobre el componente y su valoración fue tanto positiva como negativa |
| | No se identificó el impacto sobre el componente |

Se revisaron siete Estudios de Impacto Ambiental (EIA) sobre minería de oro del año 2000 a 2011 que comprenden las siguientes regiones: Guyana-Venezuela, Migori-Kenya, Lima-Perú, Puno-Perú, Antioquia-Colombia (2 casos) y Amazonas-Brasil (Tabla 2).

***Tabla 2.*** *Identificación de los componentes ecológicos y valoración de los impactos por actividades de minería de oro en cada estudio de caso.*

| Cita | IP | País | Ciudad | Año | Metodología | S | Ai | A | V | F | Hg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (Lozada & Arends, 2000) | X | Venezuela | Guyana | 2000 | Matriz de Leopold | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| (Ogola *et al*., 2002) | X | Kenya | Migori | 2002 | Lista chequeo, entrevistas informales y muestreos cuantitativos | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| (Gallarday, 2006) | X | Perú | Lima | 2006 | Matriz de Leopold | 0 | -1 | | -1 | -1 | |
| (Molina *et al*, 2008) | X | Colombia | El Bagre, Antioquia | 2008 | Medición del impacto económico involucra tanto a la empresa, como a la comunidad y al Estado | | | | | | |
| (Moreno, 2013) | X | Colombia | El Bagre, Antioquia | 2008 | Se tomó unos grupos de 25 personas de ocupación minera y se sometieron a una batería de pruebas de personalidad y comportamiento | | | | | | -1 |
| (Sousa *et al*., 2011) | X | Brasil | Amazonas | 2011 | Matriz de Leopold modificada. Enfoque Heurístico. Considera los impactos medibles directamente, y la percepción de los interesados de tales impactos | -1 | | -1 | -1 | | -1 |
| (Cuentas, 2009) | X | Perú | Puno | 2009 | Esta modalidad de minería opera con una planta que vincula a 84 trabajadores y recibe el trabajo de 400 minero artesanales. Para el Estudio en cuestión sólo se considera la etapa de exploración. Método de Criterios Relevantes Integrados: Propone la elaboración del índice de VIA (Valor Impacto Ambiental). El método RIAM (Evaluación Rápida de Impactos Ambientales), clasifica a los componentes ambientales en 4 categorías ambientales: ambiente físico, ambiente biológico, ambiente social cultural y ambiente económico. Método Vicente Conesa | -1 | | -1 | -1 | | -1 |

IP: Impactos previos. Componentes: S (Suelo), Ai (Aire), A (Agua), V (Vegetación), F (Fauna) y Hg (actividades con manipulación y liberación de mercurio).

***Zona de estudio***

EL río Guabas hace parte de la cuenca Sonso-Guabas, zona de reserva forestal protectora, que se encuentra en el departamento del Valle del Cauca, en el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia. Allí se ubica un complejo minero llamado la Victoria, donde según el Programa Agropecuario Municipal (Alcaldía municipal de Ginebra, 2015), se practica la minería a escala artesanal, realizando labores de acceso subterráneo o a cielo abierto dependiendo de la profundidad a la que se encuentre el mineral.

***Panel de expertos***

El panel de expertos realizó una visita a la mina La Suiza, en el complejo minero la Victoria, donde se encontró una mina en teoría inactiva, debido a que el molino, y los pizones estaban en mal estado. Se tomaron fotografías y se realizaron entrevistas a diferentes actores sociales con el objetivo de ampliar la percepción sobre los impactos percibidos por la actividad en los actores sociales. En adición, se revisó literatura de las diferentes organizaciones gubernamentales que han trabajado sobre el estado e impacto de las actividades mineras en la zona.

Se realizó una matriz de Criterios Relevantes Integrados (CRI) (Buroz, 1994), determinando la relación causa-efecto ubicando los componentes ecológicos que pueden ser afectados en las columnas, y las fases de los proyectos mineros, aspectos y sub-aspectos en las filas; resultando en los impactos del proyecto al ecosistema. A través de la interacción o no, de las actividades mineras desarrolladas con los componentes ecológicos, se identificaron y valorizaron los impactos ecológicos y se definieron los impactos significativos, llegando hasta la valoración de SEVERIDAD, a través de la secuencia lógica mostrada en las Tablas 3 y 4.

En cada celda de la matriz, se le da un valor a Intensidad, Extensión y Duración. Con estos valores se calcula la Magnitud (M) del Impacto (ecuación 1). Posteriormente se asigna la variable Reversibilidad e Incidencia a cada interacción y se obtiene Valor de Índice Ambiental (VIA) (ecuación 2). Luego la severidad se calcula mediante el producto entre VIA y M (ecuación 3).

***Tabla 3.*** *Criterios para valorar impactos ecológicos*

| PARÁMETRO | CRITERIO | ESCALA | VALOR |
|---|---|---|---|
| Intensidad del impacto (I) | Se refiere al grado con el que un impacto altera a un determinado elemento del ambiente, por tanto está en relación con la fragilidad y sensibilidad de dicho elemento, puede ser alto, medio o bajo. El valor numérico de la intensidad varía dependiendo del grado del cambio sufrido. Esta calificación de carácter subjetivo estable la predicción del cambio neto entre las condiciones, con y sin proyecto. | Alto | 7-9 |
| | | Medio | 4-6 |
| | | Bajo | 1-3 |
| Extensión o influencia espacial (E) | Determina el área geográfica de influencia teórica que será afectada por un impacto en relación con el entorno del proyecto (porcentaje de área impactada respecto al entorno en que se manifiesta el efecto), pudiendo esta ser puntual, local, regional. | Regional | 10 |
| | | Local | 5 |
| | | Puntual | 2 |
| Duración (D) | Se refiere al tiempo que supuestamente permanecería el efecto, desde su aparición, y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales, previo a la acción de medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras. La duración es independiente de la reversibilidad | (>10 años) Largo | 10 |
| | | (5-10 años) Mediano | 5 |
| | | (0-5 años) Corto | 2 |

Fuente: Buroz (1994).

*Cálculo de la Magnitud del Impacto*

M=(I*W)+(E*WE)+(D*WD), (1)

Donde,

M=Magnitud
I=Intensidad
W=peso específico de Intensidad, para este caso (0.4)
E=Extensión
WE=peso específico de Extensión (0.3)
D=Duración
WD=Peso específico duración (0.3)

***Tabla 4.*** *Criterios para valorar impactos ecológicos*

| PARÁMETRO | CRITERIO | ESCALA | | VALOR |
|---|---|---|---|---|
| Reversibilidad (R) | Es la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la intervención humana, una vez que aquella deja de actuar. | | Baja o irrecuperable | 10 |
| | | Irreversible | El impacto puede ser recuperable a muy largo plazo (> 30 años) y a elevados costos. | 9 |
| | | Parcialmente reversible | Media (Impacto reversible a largo y mediano plazo). | 5 |
| | | Reversible | Alta (Impacto reversible de forma inmediata o a corto plazo). | 2 |
| Incidencia (G) | Es la posibilidad de real o potencial de que una determinada actividad produzca un impacto sobre un factor ambiental. Se considera como Alto cuando existe la certeza de que un impacto se "produzca" y sea "real"; Medio es la condición intermedia de duda de que se produzca o no | Alto | | 10 |
| | | Medio | | 5 |
| | | Bajo | | 2 |

Fuente (Buroz, 1994)

*Fórmula de Valor de Índice Ambiental (VIA)*

VIA= (RiXR x GiXG x MXM), (2)

Donde,

VIA=Valor de Indice Ambiental
XM=peso de la variable magnitud (0.4)
XG=peso de la variable Incidencia (0.2)
XR=peso de la variable reversibilidad (0.4)

*Fórmula Severidad*

S=VIA x M, (3)

Donde,

S=Severidad
VIA=Valor de Indice Ambiental
M=Magnitud

Por último se realizó una comparación entre los impactos significativos identificados en las actividades mineras en la cuenca del río Guabas y los impactos identificados en la literatura consultada.

## Resultados y discusión

Se revisaron siete investigaciones, donde se desarrollaron EIA por actividades mineras desde el año 2000 a 2011, y comprenden las siguientes regiones: Guyana-Venezuela, Migori-Kenya, Lima-Perú, Puno-Perú, Antioquia-Colombia (2 casos) y Amazonas-Brasil. Las metodologías usadas fueron cualitativas, diferentes entre sí. A pesar de las distancias geográficas y las posibles diferencias en el ambiente biofísico entre los sitios, la valoración total del impacto de los proyectos mineros en cada sitio fue *moderado*. Sólo en un estudio, los componentes suelo y vegetación llegaron a ser impactados a nivel severo.

En las actividades mineras de la cuenca del río Guabas, la fase de trituración y pulverización, en su aspecto molino y pizón, y su sub-aspecto consumo de energía, no tuvieron impacto en el ecosistema, como tampoco la fase de procesamiento en su aspecto mesa concentradora y uso de sustancias peligrosas, y su sub-aspecto consumo de agua (Tabla 5).

***Tabla 5.*** *Matriz de Severidad de Impactos: minería de oro en río Guabas*

| MATRIZ DE SEVERIDAD DE IMPACTOS:MINERÍA DE ORO EN GUABAS | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | COMPONENTES ECOLÓGICAS E IMPACTOS | | | | | | | | | |
| | | MEDIO FISICO | | | | | | MEDIO BIOTICO | | | |
| | | | AIRE | SUELO | | AGUA | | FLORA | | FAUNA | |
| ACTIVIDAD | SUBACTIVIDAD | Aspecto | Calidad | Pérdida propiedades físicas del suelo | Deslizamiento suelo | Calidad físico-química del agua | Reducción de oferta hírdrica | Extinción especies endémicas | Toxicidad flora acuática | Toixicidad fauna acuática | Desplazamiento de especies |
| Excavación | Uso de Pico y pala | Emisión de material particulado | | | | | | | | | |
| | Uso de Explosivos | Emisión de material particulado | | | | | | | | | |
| | | Generación de Vibración | | | | | | | | | |
| | | Liberación de sedimentos | | | | | | | | | |
| | Abertura del Socavón | Aprovechamiento de Madera para postes | | | | | | | | | |
| | | Consumo de energía | | | | | | | | | |

## Continuación Tabla 5

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Extracción del mineral dentro de la bocamina | Uso de Pico y pala | Emisión de material particulado | | | | | | | | | |
| | Uso de Explosivos | Emisión de material particulado | | | | | | | | | |
| | | Generación de Vibración | | | | | | | | | |
| | | Liberación de sedimentos | | | | | | | | | |
| Transporte del mineral hasta la planta de beneficio | Uso del volqueta | Generación de residuos sólidos | | | | | | | | | |
| | | Compactación del suelo | | | | | | | | | |
| | Uso del breque | Generación de residuos sólidos | | | | | | | | | |
| Trituración | Pisado del material | Emisión de material particulado | | | | | | | | | |
| | | Emisión de Ruido | | | | | | | | | |
| | | Consumo de energía | | | | | | | | | |
| Pulverización | Uso del molino | Emisión de material particulado | | | | | | | | | |
| | | Emisión de Ruido | | | | | | | | | |
| | | Consumo de energía | | | | | | | | | |
| Separación del oro | Amalgama Mercurio y/o uso cianuro | Emisión de gases contaminantes | | | | | | | | | |
| | | Vertimiento de sustancias peligrosas | | | | | | | | | |
| | | Consumo de agua | | | | | | | | | |
| | Mesa sedimentación | Consumo de agua | | | | | | | | | |

| Convenciones | |
|---|---|
| Leve | |
| Moderado | |
| Severo | |
| Crítico | |

Más del 90% de los componentes ecológicos son afectados de forma *severa,* lo cual concuerda con la literatura. Los sub-aspectos críticos son el aprovechamiento de recursos maderables, como también la generación de vibración con explosivos, y por último, las emisiones gaseosas y vertimiento de sustancias peligrosas por el uso de mercurio y cianuro.

## Conclusiones

El impacto promedio, o general de la actividad minera desarrollada en el río Guabas fue considerado *severo*, lo que se diferencia con el impacto global revisado en la literatura, que fueron considerados como *moderado* en la mayoría de los casos. Mientras que el impacto ecológico sobre los componentes suelo y vegetación concuerdan en su valoración *severa*.

El análisis de las herramientas académicas permite concluir que los proyectos mineros generan impactos ecológicos predominantemente *moderados*, lo cual puede explicar la proliferación de propuestas de extracción y la ejecución de políticas mineras, como en el caso de Colombia y la denominada "locomotora minera", donde el gobierno 2010-2014 se ha interesado en participar de las ganancias de la minería, debido a que ha encontrado un crecimiento del producto interno asociado a las actividades extractivas; no obstante, esta fuente de riqueza se está convirtiendo en una nueva fuente de conflictividad social en departamentos como Santander, Tolima y Antioquia.

## Agradecimientos

El autor agradece a la institución Universidad Nacional Sede Palmira, en su programa de posgrado de Maestría en Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Administración, que a través del apoyo para la realización de las salidas a la Cuenca Sonso-Guabas permitió la realización de esta investigación. También agradece al profesor Gabriel Fernández, a las ingenieras Liliana León,Viviana Tafur y Luisa Usman, quienes con su experiencia en Evaluación de Impacto Ambiental apoyaron la conceptualización del estudio; sin su conocimiento, experiencia y apoyo no hubiera sido posible la investigación. Finalmente agradece a los miembros del Área protegida Cuenca Sonso-Guabas.

## Literatura citada

1. Alcaldía Municipal de Ginebra. (2015). Programa Agropecuario Municipal - PAM "Unidos por el cambio y el progreso de Ginebra". Ginebra, Colombia
2. Adams, D. H., Sonne, C., Basu, N., Dietz, R., Nam, D. H., Leifsson, P. S., & Jensen, A. L. (2010). Mercury contamination in spotted seatrout, Cynoscion nebulosus: an assessment of liver, kidney, blood, and nervous system health. *Science of the total environment*, *408*(23), 5808-5816
3. Bowerman IV, W. W., Evans, E. D., Giesy, J. P. & Postupalsky, S. (1994). Using feathers to assess risk of mercury and selenium to bald eagle reproduction in the Great Lakes region. *Archives of environmental contamination and toxicology, 27(*3), 294-298.
4. Burger, J. 2013. Temporal trends (1989–2011) in levels of mercury and other heavy metals in feathers of fledgling great egrets nesting in Barnegat Bay, NJ. Environmental research.
5. Burger, J., Jehl Jr, J. R., y Gochfeld, M. (2013). Selenium: mercury molar ratio in eared grebes *(Podiceps nigricollis*) as a possible biomarker of exposure. Ecological Indicators, 34, 60-68.
6. Burger, J., y Gochfeld, M. (2004). Marine birds as sentinels of environmental pollution. EcoHealth, 1(3), 263-274.
7. Buroz, E. (1994). Métodos de evaluación de impactos. *II Curso de Postgrado sobre Evaluación de Impactos Ambientales. FLACAM. La Plata*.
8. Cogua, P., Campos-Campos, N. H. & Duque, G. (2012). Total mercury and methylmercury concentration in sediment and seston of Cartagena bay, colombian caribbean. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, 41(2), 267-285.
9. Corredor Rodríguez, C. (2013). Estado del arte sobre la presencia de mercurio en peces y su efecto en la salud. Tesis pregrado. Universidad Pontifica Javeriana. Sede Bogotá. Facultad de ciencias
10. Cristol, D. A., Mojica, E. K., Varian-Ramos, C. W. & Watts, B. D. (2012). Molted feathers indicate low mercury in bald eagles of the Chesapeake Bay, USA. Ecological Indicators, 18, 20-24.
11. Cuentas, M. (2009). Evaluación cualitativa del impacto ambiental generado por la actividad minera en la rinconada Puno. *(tesis de maestría). Universidad de Puira*

**12.** Gallarday, T. E. (2006). Estudio del impacto ambiental de la extracción aurífera artesanal dentro de la jurisdicción política del distrito de Santa Rosa de Quives, año 2006. *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr*, *9*(18), 98-108.

**13.** Harris, H. H., Pickering, I. J. & George, G. N. (2003). The chemical form of mercury in fish. *Science*, *301*(5637), 1203-1203.

**14.** Lozada, J. & Arends, E. (2000). Aspectos ambientales de los diferentes tipos de minería de oro, desarrollados en la Reserva Forestal Imataca. *Revista Forestal Latinoamericana*, *15*(27), 81-99.

**15.** Marrugo, J. L., Ruiz, J. A. & Díez, S. (2013). Relationship between mercury levels in hair and fish consumption in a population living near a hydroelectric tropical dam. Biological trace element research, 151(2), 187-194. DOI 10.1007/s12011-012-9561-z

**16.** Marrugo, J., Lans, E. & Benítez, L. (2007). Finding of mercury in fish from the Ayapel marsh, Cordoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, *12*(1), 878-886

**17.** Moreno Requena, J. A. (2013). Alteraciones comportamentales y de personalidad debido a la exposición ocupacional a mercurio en un grupo de mineros del oro de la región del Bagre Antioquia (Doctoral dissertation).

**18.** Ogola, J. S., Mitullah, W. V. & Omulo, M. A. (2002). Impact of gold mining on the environment and human health: a case study in the Migori gold belt, Kenya. *Environmental Geochemistry and Health*, *24*(2), 141-157.

**19.** Olivero, J., Johnson, B. & Arguello, E. (2002). Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Science of the total environment*, *289*(1), 41-47

**20.** Pegg, S. (2006). Mining and poverty reduction: Transforming rhetoric into reality. *Journal of Cleaner Production*, *14*(3), 376-387.

**21.** Sousa, R. N., Veiga, M. M., Meech, J., Jokinen, J. & Sousa, A. J. (2011). A simplified matrix of environmental impacts to support an intervention program in a small-scale mining site. *Journal of Cleaner Production*, *19*(6), 580-587.

**22.** Swart, P. & Dewulf, J. (2013). Quantifying the impacts of primary metal resource use in life cycle assessment based on recent mining data. *Resources, Conservation and Recycling*, *73*, 180-187.

**23.** Urkidi, L. (2010). A glocal environmental movement against gold mining: Pascua–Lama in Chile. *Ecological Economics*, *70*(2), 219-227.

**24.** USGS U.S. Geological Survey (2015). Recuperado de: https://www.usgs.gov/


## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 11 de febrero de 2015
Aceptado: 30 de marzo de 2015

# Miniestacas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz): hacia un eficiente sistema de propagación en cultivo de tejidos

## Mini-cuttings of cassava (*Manihot esculenta* Crantz): towards an efficient propagation system in tissue culture

## *Miniestacas mandioca (Manihot esculenta Crantz): Rumo a um sistema eficiente de propagação de cultura de tecidos*

**Miguel Macgayver Bonilla Morales[1], Sergio Adolfo Sánchez Ordoñez[2] & Jorge Pachón García[3]**

[1]Licenciado en Producción Agropecuaria, Magister en Ciencias Biológicas con énfasis en Recursos Fitogenéticos Neotropicales. [2]Licenciado en Producción Agropecuaria. [3]Biólogo, Especialista en Recursos Fitogenéticos. Magister en Ciencias Biológicas, Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias de la Universidad de los Llanos. Villavicencio. Meta. Colombia

[1]Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira. Colombia. [2]Unidad Educativa trietnica YAALIAKEISY. Puerto Gaitán. Meta. Colombia. [3]Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías. Universidad de los Llanos. Villavicencio. Meta. Colombia

[1]mmbonillam@unal.edu.co, [2]sergio-lpa@hotmail.com, [3]jotapachon@hotmail.com

### Resumen

Tradicionalmente, la yuca ha sido una fuente de carbohidratos para sectores de la población con bajos niveles de ingreso a nivel mundial, por lo que está implícita en la seguridad y soberanía alimentaria de la mayoría de los países denominados del tercer mundo. De esta manera, en sistemas de propagación para la regulación de problemas fitosanitarios y producción masiva, las técnicas de cultivo de tejidos, facilitan estos procesos en plantas con propagación vegetativa como la yuca. Sin embargo, el paso más costoso en el sistema, es la introducción y propagación a nivel *in vitro*, que luego serán endurecidas en la etapa *ex vitro* y llevadas a campo. Por su parte, la generación de miniestacas permite la obtención de semilla asexual o estacas de plantas endurecidas que están en proceso de finalización de la etapa *ex vitro* y que en vez de ir a campo se multiplican para que el sistema de producción de plantas sea más eficiente, pues de cada planta se pueden obtener de 4-6 miniestacas, que no tienen necesidad de aclimatación y, por ende, va a ser una producción segura de una nueva planta por miniestacas que se siembre. De esta manera, el sistema de propagación en cultivo de tejidos vegetales en yuca tiende a ser mejor aprovechado y rentable, pues el proceso será tanto a nivel *in vitro* como *ex vitro*.

**Palabras clave:** yuca, miniestacas, propagación *ex vitro*, seguridad alimentaria.

### Abstract

Traditionally, cassava has been a source of carbohydrates for sectors of the population with low

income levels worldwide, so it is implicit in the food security and sovereignty of most Third World countries. Thus, tissue culture techniques facilitate the propagation systems for regulating phytosanitary problems and mass production, in plants with vegetative propagation like cassava. However, the most expensive step in the system is the introduction and propagation *in vitro* level, which will then be hardened *ex vitro* and then taken to field. Meanwhile, the generation of mini-cuttings allows obtaining asexual seed or cuttings hardened in the finalization process of the *ex vitro* stage and instead of going into the field are multiplied so the plants production system could be more efficient since approximately 4-6 mini-cuttings are obtained from each plant; those mini-cuttings do not need time for acclimatization, therefore the production of a new plant using mini-cuttings is going to be safe. Thus, the propagation system in plant tissue culture in cassava tends to be used and has a satisfactory profitable, because the process will be both *in vitro* and *ex vitro* level.

**Key-words:** cassava, mini-cuttings, propagation *ex vitro*, food security.

## Resumo

Tradicionalmente, a mandioca tem sido uma fonte de hidratos de carbono para os setores da população com baixos níveis de rendimento em todo o mundo, por isso está implícito na segurança e soberania alimentar da maioria dos países chamados de terceiro mundo. Assim, os sistemas de propagação para regular problemas fitossanitários e de produção em massa, técnicas de cultura de tecidos, estão facilitando esses processos em plantas com propagação vegetativa como a mandioca. No entanto, o passo mais caro desse sistema é a introdução e propagação in vitro, que apos vai para o endurecimento ex vitro para ser levado para campo. En quanto isso, a geração de mini-estacas permite a obtenção de plantas assexuadas de sementes ou mudas endurecidas que estão em processo de conclusão da etapa ex vitro e em vez de ir para o campo são multiplicados para o sistema de unidade de produção mais eficiente, de cada planta pode ser obtidas 4-6 mini-estacas, que não tem necessidade de aclimatação e, portanto, será uma produção segura de uma nova planta que é plantada por mini-estacas. Assim, o sistema de propagação em cultura de tecidos vegetais na mandioca tende a ser melhor explorada e rentável, porque o processo será tanto ao nível in vitro como ex vitro.

**Palavras-chave:** mandioca, miniestacas, propagação ex vitro, a segurança alimentar

## Introducción

La yuca (*M. esculenta* Crantz), es la cuarta fuente de calorías para alrededor de 500 millones de personas, después del arroz, el azúcar y el maíz, en lo referente a cantidad de calorías producidas, se cultiva fundamentalmente en los trópicos y en terrenos considerados marginales, infértiles, ácidos y con largos períodos de sequía (Suárez & Mederos, 2011). De esta manera, es considerado como uno de los recursos fitogenéticos más importantes para cubrir procesos de seguridad alimentaria en comunidades rurales, campesinas, y como fuente de carbohidratos en las ciudades para sectores de la población con bajos niveles de ingreso a nivel mundial (FAO, 2010).

En yuca, se han desarrollado investigaciones que abarcan desde la siembra hasta el manejo poscosecha, con la finalidad de tener paquetes tecnológicos para el cultivo (Arismendi, 2001). No obstante, la yuca presenta otro usos, como follaje para la producción animal (Preston, Rodríguez, Nguyen & Le, 1998; Souza *et al*., 2006), aprovechamiento del almidón para la generación de agentes solifidicantes en cultivo vegetales (Romaym, Matheus, Gerstl, Rueda & Santana, 2006), o biocombustibles como alternativas limpias en mejora de combustibles fósiles (Cortés, Chavarriaga & López, 2010).

La herramienta de cultivo de tejidos mediante la propagación *in vitro* permite en especies con multiplicación vegetativa la producción masiva de plántulas, libres de patógenos, a bajo costo, en espacio reducido, en menor tiempo, bajo condiciones controladas, con alternativas de establecimiento de bancos de germoplasma, conservación e intercambio de material vegetal (Bonilla & Hernández, 2012; Bonilla, Mancipe & Aguirre, 2015). Por lo tanto, la yuca ha resultado ser muy útil para la multiplicación masiva, limpieza de enfermedades y mejoramiento genético (Misikita, Ihemere, Siritunga & Sayre, 2007; Bonilla, Pachón & Moreno, 2015).

La producción masiva de plantas se hace a través de procesos *in vitro* en el laboratorio (Konan, Shöpe, Cárcamo, Beachy & Fauquet, 1997; Ramírez, Guevara & Escobar, 2012), y generalmente esta sesgada a este manejo para la generación de material vegetal, que se llevará a la fase *ex vitro* y luego a campo. Por este motivo, el objetivo de este artículo es definir el protocolo para la propagación y crecimiento de miniestacas de *M. esculenta* variedad brasilera, que permita hacer más eficiente el sistema de proliferación de plántulas por medio de las técnicas de cultivo de tejidos en la etapa *ex vitro*, con la finalidad de tener una producción simultánea, *in vitro* y *ex vitro*.

**Material vegetal *in vitro***

Siguiendo lo planteado por Bonilla, Pachón & Moreno (2015) se seleccionaron vitroplantas de yuca (*M. esculenta*) variedad brasilera de octavo subcultivo y con ocho semanas de desarrollo que crecían en frascos de vidrio que contenían 20 ml de medio de cultivo preparado con sales inorgánicas de Murashige & Skoog (1962), 0,5 mg $L^{-1}$ de tiamina-HCL, 100 mg $L^{-1}$, 100 mg $L^{-1}$ de myo-inositol, 30 g $L^{-1}$ de sacarosa, 2,3 g $L^{-1}$ de agar (Phytagel) y pH ajustado de 5,8. Las condiciones de laboratorio fueron temperatura de 30°C, intensidad lumínica de 3000 Lux y un fotoperíodo de 16 horas luz y 8 noche (Figura 1).

**Figura 1.** Vitroplantas de yuca (*M. esculenta*).

***Endurecimiento de vitroplantas***

Se siguió el protocolo establecido por Bonilla, Sánchez & Pachón (2015) donde se dejaron los tarros semi-destapados hasta cuatro días, fuera del cuarto de crecimiento, con una leve radiación solar de 7 am a 9 am y de 3 pm a 5 pm. Luego, se quitó la tapa, vinipel y los residuos del gel junto con las hojas bajeras, para sembrarlas en sustrato MB1 (humus sólido y cascarilla 1:1) esterilizado y su aclimatación se hizo manteniendo en cámara humedad y retirada progresivamente de acuerdo con el desarrollo vegetativo (Figura 2).

**Figura 2.** Planta de yuca (*M. esculenta*) en proceso de endurecimiento.

***Protocolo de propagación de miniestacas***

La selección de las plantas aclimatadas se hace con base en las siguientes características: tallo más herbáceo que leñoso, coloración y porte de la planta idóneo agronómicamente. Adicionalmente, la planta no debe estar infectada o infestada por algún agente patógeno ni atacada por algún insecto. Cabe mencionar que las plantas de 8 a 10 semanas, pueden generar hasta cuatro miniestacas, y con mayor tiempo de aclimatación, se considera una obtención hasta de seis miniestacas (Figura 3).

**Figura 3.** Planta de yuca (*M. esculenta*) aclimatada.

La cuchilla de bisturí se desinfecta en NaOCl al 3% y se hacen los cortes de las hojas desde la base del pecíolo, y luego, para cada una de las miniestacas conservando dos nudos. En seguida se aplica a cada una el protocolo de desinfección por inmersión: Cal (3%) y fungicida (1%) por 2 minutos. Las miniestacas se siembran en el sustrato que puede ser el mismo utilizado en la etapa *ex vitro* (Figura 4).

**Figura 4.** Miniestacas (*M. esculenta*) sembrada.

Aproximadamente, entre la primera y segunda semanas, aparece el primer brote de hoja (Figura 5), y su crecimiento tarda entre 7-8 semanas para tener material que puede pasar a campo. Siguiendo este orden lógico, la producción de miniestacas va a generar dos zonas de producción, la *in vitro* en el laboratorio y la *ex vitro* en invernadero que no solo aclimatizará material, sino que multiplicará aprovechando las plantas existentes.

**Figura 5.** Brote y crecimiento de miniestacas de yuca (*M. esculenta*).

## Conclusiones

La multiplicación de material vegetal endurecido por miniestacas es una estrategia que puede permitir aumentar la producción en programas de generación masiva de plantas, y a la vez disminuir los costos y los procesos para su obtención; ya que aprovecha la producción simultánea de material *in vitro* y la complementa con la *ex vitro*, de esta manera, el sistema se hace más eficiente y económico.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos por el apoyo y financiación por parte de la División de Proyección Social de la Universidad de los Llanos asociada al programa PROGRESO de Acción Social de la República, junto con el Sena sede de Los Naranjos y CORYUMET, para la ejecución del proyecto "Producción de material vegetal de yuca (*M. esculenta* Krantz) libre de patógenos a través de la propagación *in vitro*". Adicionalmente a los investigadores María Isabel Moreno, Paul Chavarriaga, Óscar Hernández, Viviana Vargas, Tatiana Zabala, Angela Tovar, Hernán Cortés y Carlos Ariel.

## Literatura citada

1. Arismendi, L. (2001). Investigación sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Krantz.) en el Oriente de Venezuela. *Revista UDO Agrícola*. 1(1): 1-10.
2. Bonilla, M, Mancipe, C. & Aguirre, C. (2015). Conservación *in vitro*: una perspectiva para el manejo de los Recursos Fitogenéticos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental. 6* (1): 67-81.
3. Bonilla, M, Pachón, J. & M. Moreno. (2015). Propagación *in vitro de* yuca (*M. esculenta* Krantz) variedad brasilera: una alternativa de producción de semilla libre de patógenos para el Meta, Colombia. *Cuadernos de Recursos Fitogenéticos Neotropicales. 5-6*: 48-60.
4. Bonilla, M. & Hernández, O. (2012). Propagación *in vitro* de ñame (*Dioscorea* spp.): una perspectiva en la producción masiva de plántulas y conservación de germoplasma. *Agronomía*. 20 (2): 65-76.
5. Cortés, S, Chavarriaga, P. & López, C. (2010). Biocombustibles y biotecnología: la yuca (*Manihot esculenta*) como modelo de investigación. *Acta Biológica Colombiana*. 15 (1): 3-24.
6. FAO. (2010).Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para alimentación y la agricultura. Recuperado de: http://www.fao.org/pgrfa-gpa-archive/hnd/files/Tratado_internacional_sobre_los_recursos_fitogeneticos_para_la_alimentacion_y_la_agricultura.pdf
7. Konan, N, Shöpe, C, Cárcamo, R, Beachy, R. & Fauquet, C. (1997). An efficient mass propagation system for cassava (*Manihot esculenta* Krantz) based on nodal explants and axillary bud-derived meristems. *Plant Cell Reports.16*: 444–449.
8. Misikita, W., Ihemere, U., Siritunga, D. & Sayre, R. (2007). Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In: Wang, K. Methods in Molecular Biology, vol. 344: Agrobacterium Protocols, 2/e, volume 2. Humana Press Inc., Totowa, NJ. 13-24 pp.
9. Murashige, T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiology Plant*. 15:473- 497.
10. Preston, T., Rodríguez, L., Nguyen, V. & Le, C. (1998). El forraje de la yuca (*Manihot esculenta* Krantz) como fuente de proteína para la producción animal en sistemas agroforestales. In: Conferencia Electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. Recuperado de: http://www.fao.org/docrep/014/x1213s/x1213s00.htm
11. Ramírez, H., Guevara, M. & Escobar, R. (2012). Cultivo de tejidos vegetales, conceptos y prácticas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Editorial Feriva S.A, Cali, Colombia.
12. Romaym, G., Matheus, J., Gerstl, A., Rueda, R. & Santana, M. (2006). Almidón modificado de yuca como sustituto económico del agente solidificante para medio de cultivo de tejidos vegetales. *Interciencia*. 31 (9): 686-689.
13. Souza, E., Guim, A., Batista, A., Zumba, E., Santos, E.,
14. Souza, K., Santos, G., Lins, N. & Matos, D. (2006). Qualidade de silagens de maniçoba (*Manihot epruinosa*) emurchecida. *Archivos de Zootecnia*. 55 (212): 351-360.
15. Suárez, L. & Mederos, V. (2011). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), Tendencias actuales. *Cultivos tropicales*. 32 (3): 27-35.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 05 de abril de 2015
Aceptado: 11 de mayo de 2015

# Evaluación del desarrollo en vivero de *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno)

## Evaluation of the nursey development of *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno)

### *Avaliação do desenvolvimento em berçário de Peltogyne purpurea Pittier (Nazareno)*

**Ramón Antonio Mosquera Mena[1] &, Luis Ángel Ruíz Flórez[2]**

[1]Ingeniero Agroforestal, Especialista el Pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo, Magister en educación con énfasis en Educación Virtual, Doctor en Desarrollo Sostenible. [2]Ingeniero Agroforestal.

[1]Facultad de Desarrollo Sostenible. Universidad Católica de Ávila. España.
[2]Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Turbo, Antioquia. Colombia.

[1]ramosquera01@gmail.com, [2]luisangelr150@hotmail.com

## Resumen

La presente investigación se realizó teniendo en cuenta la importancia ecológica de la especie *Peltogyne purpurea* Pittier, ayudando a conservar la estructura del bosque natural, su importancia económica como especie de gran valor comercial, su situación de especie en vía de extinción y la posibilidad de regeneración por medio de semilla en vivero, con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico en vivero bajo cuatro sustratos diferentes en la finca Tulenapa ubicada en el municipio de Carepa (Antioquia, Colombia), la cual cuenta con las condiciones meteorológicas y medioambientales adecuadas para la adaptabilidad de la especie; se hace un análisis del comportamiento en vivero de esta plántula, evaluando la altura, el diámetro, el número de hojas y la supervivencia a los 90 días, utilizando cuatro sustratos bien definidos y de fácil consecución en la zona: gallinaza, codornaza, tierra con materia orgánica y un sustrato testigo compuesto por cascarilla de arroz y arena. El diseño estadístico empleado fue bloques compuestos al azar, se realizaron seis mediciones de las variables en estudio con intervalos de 15 días, a los resultados se les aplicó un análisis de varianza ANOVA y prueba P para análisis de medias. Se encontraron diferencias significativas para las variables diámetro y sobrevivencia. Las demás variables no presentan diferencias significativas. Al encontrar diferencia significativa en el tratamiento tierra para la sobrevivencia, se recomienda hacer la multiplicación de la especie en vivero utilizando el sustrato más parecido a su entorno natural, lo que facilitará dicho proceso a productores interesados.

**Palabras clave**: altura, diámetro, n*úmero de hojas, sobrevivencia,* Caesalpináceae.

## Abstract

This research was carried out taking into account the importance of the species ecological *Peltogyne purpurea* Pittier, helping to conserve the natural forest structure, its economic importance as a high commercial value species, its status as a species in danger of extinction and the possibility of regeneration through seed in the nursery, with the objective of evaluating the agronomic behavior in nursery using four different strates in the farm Tulenapa, located

in the municipality of Carepa (Antioquia, Colombia), which has the meteorological and environmental conditions suitable for the adaptability of the species. An analysis of the seedling behavior in nursery was conducted, evaluating the height, diameter, number of leaves and survival for 90 days, using four easily accessible substrates in the area: manure, codornaza or excrement quails, soil with organic matter and a control substrate composed of sand and rice husks. The statistical design used was was the randomised block method, six variables were measured in intervals of 15 days and analysis of variance ANOVA and P for analysis of average were performed. Significant differences for the variables diameter and survival were determined. The other variables did not show significant differences. Since significant difference for survival variable was determined in the soil with organic matter treatment, it is recommended to perform the multiplication of the species in the nursery using the the most similar substrate to the natural environment, which will facilitate this process to interested producers.

**Key-words**: height, diameter, number of leaves, survival, Caesalpinaceae.

## Resumo

Esta pesquisa foi realizada tendo em conta a importância ecológica da espécie *Peltogyne purpurea* Pittier, ajudando a conservar a estrutura da floresta natural, a sua importância econômica como uma espécie de grande valor comercial, o seu estatuto de espécies em perigo de extinção e a possibilidade de regeneração por sementes em viveiros, a fim de avaliar o desempenho agronômico em viveiro sob quatro diferentes substratos na fazenda Tulenapa no município de Carepa (Antioquia, Colômbia), que tem um clima adequado e condições ambientais para a adaptabilidade das espécies; uma análise do comportamento no viveiro de mudas este é feito através da avaliação da altura, diâmetro, número de folhas e sobrevivência em 90 dias, usando quatro bem definido e fácil de alcançar nos substratos da área: estrume, codornaza, terra matéria orgânica e um substrato de controle composto por casca de arroz e areia. O delineamento estatístico foi composto por blocos inteiramente casualizado, seis medições das variáveis em estudo foram realizadas em intervalos de 15 dias, aos resultados foram aplicados um análise de variância (ANOVA) e prova P para análise das médias. Encotraram-se diferenças significativas para as variáveis do diámetro e sobrevivência. Outras variáveis não são significativamente diferentes. Ao encontrar diferença significativa no tratamento da terra para a sobrevivência, recomenda-se a multiplicação das espécies em viveiros utilizando o substrato mais similar ao ambiente natural, o que vai facilitar este pocesso para os produtores interessados.

**Palavras-chave**: altura, diâmetro, número de folhas, de sobrevivência, Caesalpinaceae.

## Introducción

Según el libro rojo de plantas de Colombia, en el cual se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional y se toman otras determinaciones, *Peltogyne purpurea* Pittier enfrenta un alto riesgo de extinción en estado silvestre, pues según la lista, la especie se encuentra clasificada en la categoría nacional vulnerable (VU), lo que indica que sin estar en peligro o en peligro crítico, enfrenta un moderado riesgo de extinción, como indican Cárdenas & Salinas (2006). Por lo tanto se hace necesario ampliar el conocimiento frente a sus posibilidades de propagación en diferentes entornos.

Esta especie forestal, conocida nacionalmente como Nazareno y brazilete, es un enorme árbol nativo de Colombia, Costa Rica y Panamá, rústico muy bien adaptado a las zonas tropicales y a las

partes altas de las montañas, se adapta bien cerca de los barrancos y tierras poco húmedas, su desarrollo en el medio natural es lento por cuanto su lucha por superar la competencia por luz es bastante difícil (Da silva 1976, nombrado por Cárdenas & Salinas 2007). Sin embargo, la información sobre su comportamiento en vivero es bastante reducida, siendo necesario conocer variables como germinación en diferentes tratamientos, crecimiento, desarrollo, adaptabilidad y vigorosidad. La bella y particular apariencia de su madera, su resistencia a la intemperie y al ataque de insectos, sus excelentes cualidades físicas y mecánicas y la amplia gama de usos que ofrece, hacen que esta especie nativa sea muy apreciada por los industriales de la madera. Adicionalmente, es una de las preferidas para trabajos de ebanistería, carpintería, construcciones, objetos decorativos, acabados finos y para torneado (Rojas, 2011). Sin embargo, y de acuerdo a esta condición de "aprecio" que exhibe en el mercado, en Colombia no se cuenta con suficientes estudios silviculturales del Nazareno, ni se reportan experiencias de manejo o plantaciones que aseguren su conservación y con esto se reduzca su próxima inclusión en un estado de peligro de extinción según el libro rojo; y menos una producción soportada técnicamente para garantizar su uso por parte de la industria. Costa Rica es el único país que cuenta con algunas pruebas y plantaciones forestales iniciadas años atrás, y cuyos resultados aún no han sido divulgados (Rojas, 2011).

Por lo anterior, se plantea evaluar el desarrollo en vivero de la especie *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno) bajo cuatro sustratos diferentes a través de parámetros como el crecimiento en altura de las plántulas, el crecimiento en diámetro a cinco cm de la base de las plántulas, el aumento del número de hojas de las plántulas y la supervivencia en vivero de las plántulas en un periodo de 90 días, parámetros que permiten determinar condiciones de crecimiento y desarrollo para la etapa inicial de las especies forestales en condiciones de vivero o regeneración natural. Vílchez y Rocha (2004) y Lobo *et al.* (2007).

La especie *Peltogyne purpurea* Pittier, es un árbol del dosel de los bosques tropicales, el cual se conoce en Latinoamérica como nazareno, brazilete, guamo, mochilero y tananeo. En el mercado internacional su madera se conoce como nazareno (Rodríguez & Sibille 1996; Díez & Moreno 1998). Se propaga entre los 50 y 500 msnm, en zonas de vida donde se registran precipitaciones por encima de los 2.500 mm a lo largo del año y temperaturas entre 23 y 27°C. Se desarrolla adecuadamente en suelos bien drenados, arcillosos y con buenos contenidos de hierro y aluminio. (Rodríguez & Sibille 1996; Díez & Moreno, 1998). Actualmente, los pocos árboles que subsisten se encuentran en protección del estado en parques nacionales y otras áreas protegidas, y esto dificulta la consecución de su madera en el mercado. Como consecuencia de su explotación, la especie fue incluida en el listado de especies forestales amenazadas, en peligro de extinción y poco comunes, de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN); y en la lista de especies vulnerables en el 'Libro Rojo de Plantas de Colombia, Especies Maderables Amenazadas', publicado a finales del 2007 por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi (Rojas, 2011; Villa & Ramírez, 2005).

Se trata de un árbol que según Jimenez (1995) crece hasta 50 m de altura registra DAPA de hasta 1 m; posee copa redondeada, estrecha y está integrada por varias porciones de copa, presenta hojas bifoliadas, alternas, pecíolos hasta de 2 cm de largo, folíolos de 5-7 cm de largo y 2-3 cm de ancho, lanceolado-elípticos, largos y acuminados en el ápice, redondeados u obtusos en la base, delgadamente coriáceos, glabros, con la nervadura reticulada y el nervio principal más sobresaliente en el envés. (Rodríguez & Sibille, 1996; Díez & Moreno, 1998); Las inflorescencias son en panículas terminales o sub terminales, estas presentan pocas o muchas flores de 5 pétalos de color blanco, fragantes; sin embargo, la fructificación no ocurre anualmente. Los frutos son legumbres dehiscentes de color marrón, de forma oblicua, plana y glabra, de 3-5 cm de largo y de 2-6 cm de ancho.

Presenta una semilla de 2 cm de largo y 1.5 cm de ancho, la cual persiste en el fruto, de forma ovada y aplanada; en un kilogramo de semillas se puede presentar entre 2.200 a 2.500 unidades (Vílchez & Rocha, 2005; Rocha *et al*. 2011; Diez & Moreno, 1998; Gentry, 1993; Moreno, 1996; Jiménez, 1999; Cordero & Boshier, 2003). Presenta fuste recto y cilíndrico, su longitud generalmente alcanza el 50 % hasta el 80 % de la altura total del árbol. *P. purpurea* posee raíces tablares cortas y angostas, que alcanzan hasta 3 m de altura en individuos viejos; la corteza es lisa hasta escamosa, de color gris a blanco grisácea y la corteza de las ramas se encuentra cubierta por abundantes lenticelas blancas. Sus frutos son legumbres dehiscentes solitarias, planas, ovaladas y lisas. Alcanzan 3-5 cm de longitud y 2-6 cm de ancho. La semilla mide 10-12 mm de ancho, 17-20 mm de largo y 2 mm de grosor, es ovalada y plana. En promedio se pueden esperar 2.200 a 2.500 semillas/kg. A pesar de que en un principio las semillas permanecen en el fruto, sin embargo Maraz *et al*., (1997) aseguran que en algunas observaciones mostraron que la mayoría de semillas caen al suelo separadas de su fruto.

En relación a la germinación, Maraz *et al*. (1997) afirman que Los porcentajes de germinación de *P. purpurea* son muy altos, determinado a través de un estudio que involucró variables como tratamientos pregerminativos, sustratos, iluminaciones y tiempos de almacenamiento de las semillas. Con este encuentran que en la arena húmeda las semillas se hinchan después de pocas horas, al segundo día la radícula atraviesa la cubierta seminal y al séptimo día ya alcanza una longitud de 4-5 cm. En este estudio se encuentra que cuando la semilla se no se le aplicó tratamiento pre germinativo, se sembró en arena y se expuso al sol, el porcentaje de germinación fue del 75,5%; cuando no se le aplicó tratamiento pre germinativo, se sembró en arena y se no expuso al sol, el porcentaje de germinación fue del 69%, cuando se le aplicó el tratamiento pre germinativo de agua fría, se sembró en arena y se expuso al sol, el porcentaje de germinación fue del 38%, cuando se le aplicó el tratamiento pre germinativo de agua fría, se sembró en arena y no se expuso al sol, el porcentaje de germinación fue del 41,5% y cuando no se le aplicó tratamiento pre germinativo, se sembró en tierra y se expuso al sol, el porcentaje de germinación fue del 76,5%. Su distribución y hábitat, al igual que otras del género Peltogyne como P. *pubescens Bent*, P. *paniculata Bent* y P. *venenosa* (Vahl) *Bent*, se encuentra en México, Guayanas, Centroamérica, Panamá, Venezuela, Brasil y Bolivia. En Colombia la más encontrada es *Peltogyne purpurea* Pittier que se halla en la zona de Urabá, Tumaco, Magdalena Medio, la Amazonía y en el Parque Nacional Natural Paramillo, cerro Murrucucú; en bosques primarios y con algún grado de intervención con bajas densidades arbóreas; no obstante, en la región de Los Mogos (Costa Rica) se han encontrado tipos de asociaciones donde la especie domina la estructura horizontal del bosque. En el sotobosque de plantaciones naturales en Costa Rica y Colombia se encuentran bancos de plántulas de diferentes tamaños no muy densos, cerca de los árboles madres (Rodríguez & Sibille, 1996; Díez & Moreno, 1998; Villa & Ramírez, 2005).

Para su reproducción, la siembra de las semillas se realiza en camas de arena y la germinación se inicia aproximadamente entre los 5-8 días. El repique se realiza unas cuatro semanas después, cuando las plantas han alcanzado alturas de 8-10 cm. Las plantas son de crecimiento lento y requieren de 12 a 16 meses para alcanzar alturas entre 18 y 22 cm (Cordero & Boshier, 2003). Los sustratos como gallinaza y codornaza, que fueron utilizados en este estudio, se encuentran en el medio con cierta facilidad y aparte de reunir las condiciones físicas, químicas y biológicas que necesita todo tipo de sustrato para producir plantas con un buen desarrollo en vivero como son el soporte, la humedad, porosidad y drenaje y elementos minerales para nutrición (Pérez, Céspedes & Núñez, 2008), se consideran de bajo costo y se puede constituir en una alternativa económica para los productores forestales.

La gallinaza, o residuos de la producción avícola, es un abono orgánico o biofertilizante muy completo para la agricultura y es la principal fuente de nitrógeno natural. Este material está compuesto por las deyecciones, plumas, residuo de alimento y huevos rotos que caen al piso; y su calidad y riqueza depende de la dieta de las aves y del sistema de alojamiento. Tiene un alto contenido de humedad y altos niveles de nitrógeno, que se volatiliza rápidamente y producen malos y fuertes olores, donde puede perder calidad como fertilizante. Para solucionar este problema y facilitar su manejo, es necesario someter la gallinaza a secado. Al ser deshidratada, se produce un proceso de fermentación aeróbica que genera nitrógeno orgánico (Estrada *et al*., 2001; Estrada, 2005). El principal aporte de la gallinaza, consiste en mejorar la fertilidad del suelo con nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro. Adicionalmente, cumple con la función de retención de humedad del suelo y actúa como regulador de la temperatura y pH (Estrada, 2005; Salinas, 2013). No obstante, el uso de gallinazas frescas, puede producir efectos adversos al suelo y plantas, por ello se recomienda el procesamiento de ésta mediante el compostaje. (Estrada *et al*., 2001; Estrada, 2005; Araméndiz *et al*., 2013)

De otro lado, la composta de codornaza es definida como un abono orgánico de origen animal, conformado por un material de color café oscuro, sin olor desagradable y de textura suave semigranulado (Flórez & Ospina 2010). En su composición química más común la codornaza contiene Nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y cobalto con una humedad aproximada del 60%.

El objetivo principal de esta investigación fue la evaluación del desarrollo en vivero de la especie *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno) bajo cuatro sustratos diferentes y específicamente el estudio se orientó a determinar para los sustratos evaluados la altura de la planta, el diámetro de la plata, el número de hojas y la sobrevivencia de las plantas en dicha etapa.

## Materiales y Métodos

### *Área de estudio*

La investigación se realizó en Colombia, departamento de Antioquia, específicamente en el municipio de Carepa finca Tulenapa, la cual está ubicada en el km 1 de la vía Apartadó. Este predio se ubica geográficamente en las coordenadas 7° 45´ 85” N y 76° 39’ 29.12” W (PDM 2012-2015).

En el área de estudio, la precipitación media anual es de 3.500 a 3.800 mm/año, con lluvias de baja intensidad en los meses de enero, febrero y marzo; y lluvias fuertes en el resto del año. La temperatura promedio es de 30 ºC, donde la época de mayor calor se presenta en los meses de mayo y junio debido a la escasez de las brisas tanto del norte como del sur (POT, 2002; PDM, 2012-2015). La humedad relativa media mensual multianual es 85 %, respecto al brillo solar, se estiman aproximadamente 1.890 horas de sol en un año, con valores mensuales de 130 a 170 horas. En la época de verano, los vientos alisios que se desplazan de norte a sur refrescan esta zona, con velocidades de 12 a 14 km/h de enero a marzo y entre mayo a noviembre inferior a 8 km/h. La evaporación media mensual multianual es de 115,2 mm. Según la clasificación Holdridge (1967) Carepa hace parte de la zona demarcada como bosque húmedo tropical (POT, 2002; PDM, 2012-2015).

### Obtención del material vegetal

Las semillas utilizadas provinieron del bosque intervenido circundante en la serranía de Avive en la zona de Urabá Antioquia, en un área aproximada de 5 ha con 6 árboles aislados con buenas condiciones sanitarias, diámetros a la altura del pecho superiores a los 30 cm y fustes rectos para lo cual haciendo uso de escaleras se bajaron frutos completamente maduros y se bajaron.

**Tratamiento de las semillas**

Se colocaron las semillas recolectadas en un recipiente con agua, con el objetivo de eliminar semillas consideradas como vanas al permanecer flotando, posteriormente con un colador se extrajeron las semillas y se colocaron a la sombra en papel secante (Martínez, 2003), obteniéndose seleccionaron las semillas con mejores condiciones de tamaño y vigorosidad para ser usadas en el estudio, esto en en el mes de marzo de 2013. Se colectaron 950 frutos obteniendo de ellos 926 semillas buenas a razón de una semilla por fruto.

**Sustratos y su composición**

Los sustratos utilizados en el estudio y sus respectivas proporciones fueron:

Tratamiento (A): Sustrato compuesto por 40% de gallinaza, 40% de tierra y 20 % de arena.

Tratamiento (B): Sustrato compuesto por 40% de codornaza, 40% de tierra y 20% de arena.

Tratamiento (C): Sustrato compuesto por 30% de arena y 70% de tierra.

Tratamiento (D): Sustrato testigo de la investigación, compuesto por 60 % de arena y 40 % de cisco de arroz.

A los tratamientos antes mencionados, se les aplicó un proceso se desinfección consistente en humedecer con agua caliente a temperatura ebullición todo el contenido por tratamiento para prevenir infecciones por microorganismos que pudieran sobrevivir a los procesos de compostaje y pudieran causar problemas a las plántulas (Martel & Alván, 2011).

***Siembra***

Fueron sembradas en cada bolsa de polietileno perforadas, tipo forestal convencional una semilla previamente tratada a una profundidad de 0,5 cm y se roció agua. Posteriormente se colocaron las bolsas organizadas en el bloque correspondiente a razón de 50 bolsas por tratamiento separadas del tratamiento siguiente por una distancia de 50 cm e identificando dicho tratamiento con las letras A, B, C y D con una placa elaborada en lámina de icopor de aproximadamente 25 x 25 cm, se construyeron calles separadas con madera de 1 m de distancia para distinguir cada uno de los 4 bloques y todo el conjunto se cubrío con malla polisombra al 65%, los bloques tuvieron una dimensión de 3 m de largo por 0,8 m de ancho en un área de 6 $m^2$ en dirección norte sur, de tal forma que las plántulas recibieron sol de la mañana y de las horas de la tarde. El riego se realizó cada 3 días durante las 3 primeras semanas, luego una vez a la semana.

***Registro de datos***

Para la medición de las variables altura, diámetro y número de hojas, se seleccionaron al azar 32 plántulas de cada uno de los bloques a evaluar, para un total de 128 plántulas seleccionadas para la toma de datos, seleccionando 8 plantas en cada repetición del tratamiento correspondiente y el testigo, ubicándola en el sector central del mismo y tomando la información, para su correcta identificación se identificaron con una cinta de color las plántulas seleccionadas. El período de evaluación se realizó durante tres meses con toma de información cada 15 días, iniciando la toma de datos el 10 de septiembre de 2013. Este período se establece teniendo en cuenta que la etapa de vivero, la mayoría de especies forestales latifoliadas han alcanzado un tamaño óptimo para ser trasplantadas a campo o sitio definitivo. De acuerdo con Rodriguez (2010) en su documento Manual de prácticas de viveros forestales, históricamente se ha dado el tipo de trasplante tradicional en el cual se espera que la plántula adquiera cierto vigor y condición de altura entre 5 y 7 cm y tamaño de raíces entre 8 y 12 cm, para ser trasplantadas, condiciones que se alcanzan entre 30 y 60 días según la especie. La toma de información se realizó cada quince días, partiendo del 10 de septiembre del año 2013.

***Labores Culturales***

Las labores culturales efectuadas en el estudio se realizaron de manera manual y el riego se realizó cada dos días o cada vez que el cultivo lo necesitó, dependiendo de la frecuencia de lluvias en la zona de ejecución del proyecto. El sistema de prevención de plagas no fue necesario, pues no hubo plagas ni enfermedades durante el proceso de vivero (3 meses).

***Variables medidas***

Las variables que se midieron para evaluar el desarrollo en vivero de *Peltogyne purpurea* Pittier fueron: Línea 458:

- La altura del nazareno, el diámetro del nazareno y número de hojas, estas variables se midieron en los siguientes días: a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 después de la siembra de las plántulas en las bolsas bajo los cuatro sustratos.

- Para la medición de la sobrevivencia, se tuvo en cuenta el número de plantas que permanecieron vivas durante el proceso en cada uno de los sustratos en estudio, para lo cual se tuvo en cuenta el porcentaje de plantas sobrevivientes a los 90 días.

***Diseño experimental***

El diseño experimental consistió en cuatro bloques completamente al azar, compuestos cada uno por los tres tratamientos y el testigo. En cada bloque se utilizaron 50 repeticiones por cada tratamiento, para un total de doscientas (200) plantas por bloque y ochocientas (800) plantas para todo el experimento.

***Análisis estadístico***

Se trabajó la tabla ANOVA, utilizando los bloques compuestos al azar, descomponiendo la variabilidad de las variables en contribuciones debidas a varios factores. Se escogió la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se midió eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P se utilizaron para probar la significancia estadística de cada uno de los factores. Se aplicaron pruebas-F en la tabla ANOVA para identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, se hicieron Pruebas de Rangos Múltiples para saber cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se muestra Gráfica de Medias para interpretar los efectos significativos (Díaz, 2009). Los análisis fueron realizados con el programa StatGraphics Centuriun versión XVI.I

## Resultados

En la Figura 1 se observa la homogeneidad de los datos para el periodo de medición (90 días), la altura promedio fluctuó entre 11,8 y 12,6 cm, donde las plántulas del tratamiento C obtuvieron la mayor altura, y por el contrario, las plántulas del tratamiento A crecieron en promedio 11,8 cm en altura y fue menor con respecto a los otros tratamientos, pero, como se indicó anteriormente, sin significancia. A los 90 días, se observaron promedios entre 12,2 y 14,8 cm, donde igualmente las plántulas del tratamiento C fueron las que más crecieron, en segundo lugar, se encuentran las plantas que crecieron en el tratamiento B, con una altura promedio de 14,1 cm y finalmente, las plántulas que crecieron en el tratamiento A y D obtuvieron los menores incrementos en alturas con respecto a la primera medición (0,9 y 0,2 cm respectivamente).

Adicionalmente, de estos resultados se destaca que para todos los tratamientos, el crecimiento en altura permaneció constante en al menos 4 periodos de medición (2 meses). Por ejemplo, en el tratamiento testigo (D), la altura de las plántulas fue constante hasta la quinta medición (75 días), donde solo se observó un incremento en la última medición con respecto a la primera de 0,4 cm.

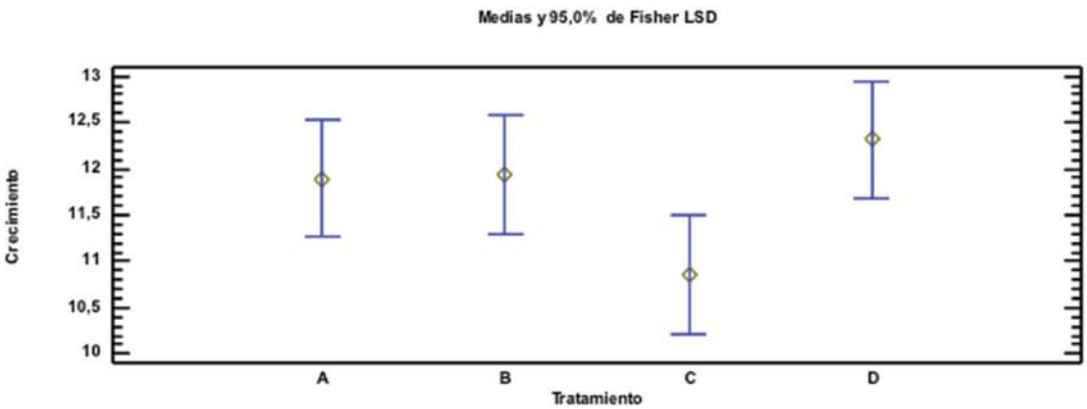


**Figura 1.** Comportamiento del crecimiento por tratamientos

En el crecimiento, luego de realizar un análisis de varianza para los factores tratamientos y repeticiones y evaluar la significancia, se encuentra que no hay diferencia significativa para un 95% de nivel de confianza para los tratamientos y entre las repeticiones de los tratamientos, como se puede apreciar en la Tabla 1

***Diámetro***

En el diámetro, luego de realizar un análisis de varianza para los factores tratamientos y repeticiones y evaluar la significancia, se encuentra que no hay diferencia significativa para un 95% de nivel de confianza para los tratamientos, ni se encuentra diferencia para las repeticiones de los tratamientos, como se puede apreciar en la Tabla 1.

***Tabla 1.*** *Análisis de varianza para diámetro de plantas*.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| Efectos Principales | | | | | |
| A:Tratamiento | 3,80836 | 3 | 1,26945 | 5,71 | 0,0011 |
| B:Repeticion | 0,00273437 | 3 | 0,000911458 | 0,00 | 0,9996 |
| Residuos | 26,8888 | 121 | 0,222222 | | |
| Total (Corregido) | 30,6999 | 127 | | | |

Suma de Cuadrados Tipo III

La Figura 2 muestra el comportamiento del diámetro por tratamiento. La variación de diámetro presentada por tratamiento fue la siguiente: tratamiento A (0.2), tratamiento B (0.2), tratamiento C (0.2) y tratamiento D (0.2)

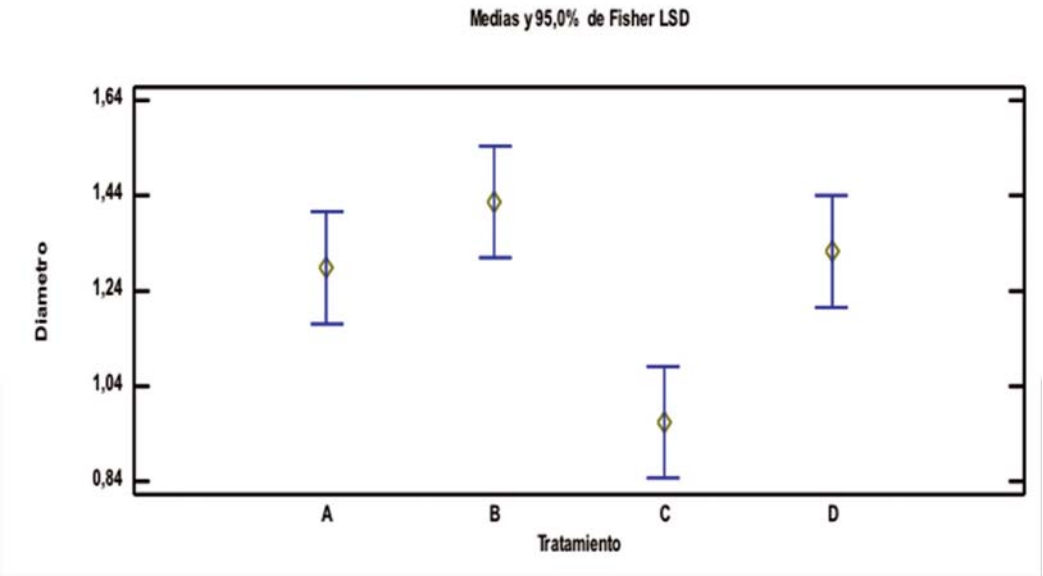


**Figura 2.** Comportamiento del diámetro por tratamientos

***Número de Hojas***

En el número de hojas, luego de realizar un análisis de varianza para los factores tratamientos y repeticiones y evaluar la significancia, se encuentra que no hay diferencia significativa para un 95% de nivel de confianza para los tratamientos, ni se encuentra diferencia para las repeticiones de los tratamientos, como se puede apreciar en la Tabla 2.

***Tabla 2.*** *Análisis de varianza para número de hojas de plantas.*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| Efectos Principales | | | | | |
| A:Tratamiento | 0,834609 | 3 | 0,278203 | 1,10 | 0,3538 |
| B:Repeticion | 0,00398438 | 3 | 0,00132813 | 0,01 | 0,9995 |
| Residuos | 30,7257 | 121 | 0,253931 | | |
| Total (Corregido) | 31,5643 | 127 | | | |

Suma de Cuadrados Tipo III

El número de hojas presentó una estabilidad en las primeras medidas, debido al estrés sufrido por el trasplante, las nuevas hojas se presentan luego de la quinta medida, siendo una plántula del tratamiento C la que mayor número de hojas rebrotó, cinco en total; algunas plántulas no presentaron desarrollo de rebrote, pero se sostuvieron vivas durante y luego de la investigación. La variación promedio de número de hojas obtenida fue: tratamiento A (0.3), tratamiento B (0.6), tratamiento C (0.7), tratamiento D (0.1), mostrando una concentración de medias homogéneas como se puede apreciar en la Figura 3.

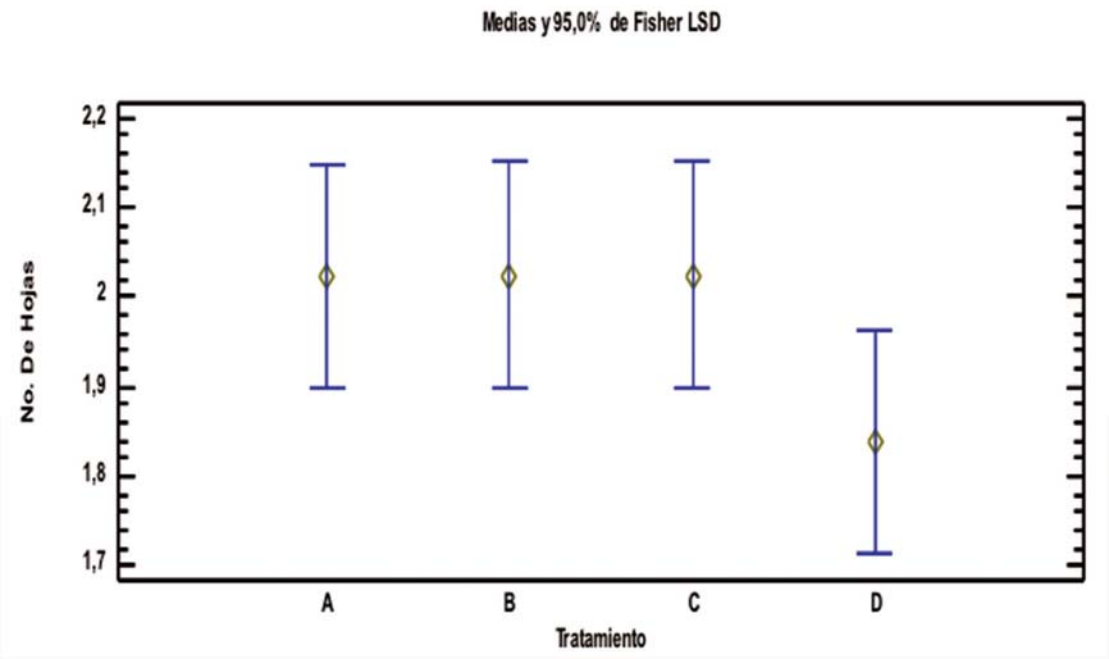


**Figura 3.** Variación promedio de número de hojas

***Sobrevivencia a 90 días***

En la sobrevivencia a los 90 días, luego de realizar un análisis de varianza para los tratamientos y evaluar la significancia, se encuentra que no hay diferencia significativa para un 95% de nivel de confianza para los tratamientos, como se puede apreciar en la Tabla 3.

***Tabla 3.*** *Análisis de Varianza para Sobrevivencia a 90 días*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| Efectos Principales | | | | | |
| A:Tratamiento | 7384,75 | 3 | 2461,58 | | |
| Residuos | 0 | 0 | | | |
| Total (Corregido) | 7384,75 | 3 | | | |

Suma de Cuadrados Tipo III

Con relación al comportamiento de la sobrevivencia, se puede apreciar en la Figura 4 que para el tratamiento A de 200 plantas sembradas sobrevivieron 65, en el tratamiento B de 200 plantas sembradas sobrevivieron 46, en el tratamiento C de 200 plantas sembradas sobrevivieron 158 y en el tratamiento D de 200 plantas sembradas sobrevivieron 106.

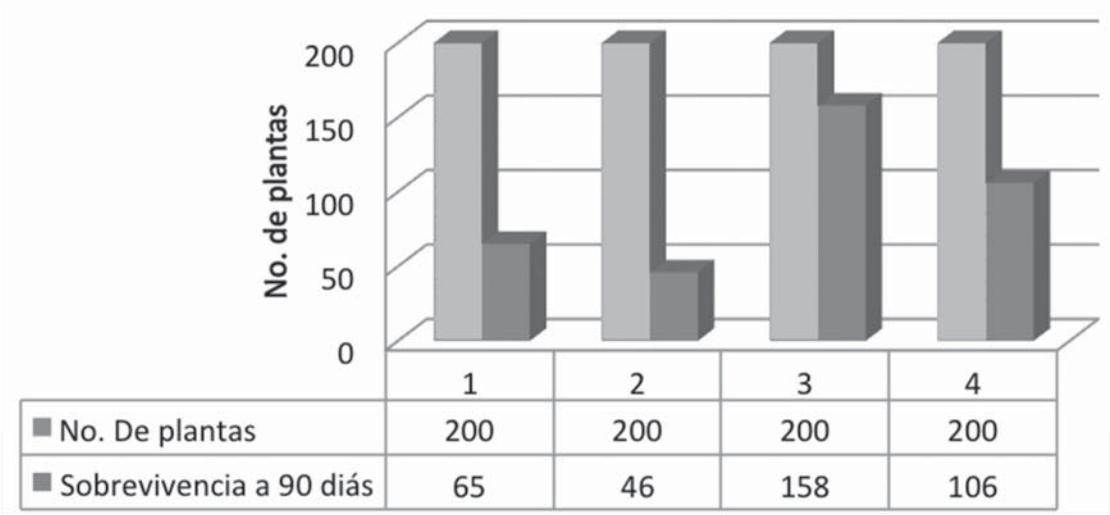


**Figura 4.** Comportamiento de sobrevivencia por tratamientos

## Discusión

Teniendo en cuenta la revisión de trabajos realizados sobre la especie *Peltogyne purpurea* Pitter, se puede deducir que su dispersión geográfica está limitada prácticamente a áreas de reserva natural, producto del aprovechamiento intensivo que se ha presentado en el bosque natural como lo indica Rojas (2011). Sin embargo, los resultados obtenidos son esperanzadores para una buena producción de la especie en la fase de vivero. Consecuentemente, se describen los resultados de crecimiento, el cual sin presentarse diferencias significativas entre los tratamientos se obtuvo un resultado que varía entre los 11,8 cm en la primera medición y los 14,8 cm en la última medición. Estos son muy similares a los encontrados por Román *et al.* (2012), quien cataloga la especie como de crecimiento lento al crecer bajo condiciones similares a la del experimento entre 25 y 30 cm en un periodo de 12 meses. Siendo importante mencionar que la especie se encuentra en bosque natural y el periodo promedio para su aprovechamiento se encuentra entre los 25 y 30 años, como lo menciona (Vilches & Rocha, 2004)

De otro lado, Rojas (2011) afirma que la especie después de las primeras 3 semanas de germinadas alcanzan un mayor tamaño si son expuestas a la luz, logrando crecer un poco más de 1 cm en condiciones de luz con relación a las que permanecen en la sombra. Así mismo, se puede decir que los resultados encontrados en la presente investigación son muy parecidos en cuanto a crecimiento a los encontrados por Aguilar, Carrión & Takano (2000), quienes realizaron un trabajo y obtuvieron crecimientos promedio de 15,9 cm en un periodo de 115 días, estos resultados se corroboran con los encontrados en el sur de Costa Rica donde se realizó un estudio en vivero de siete especies forestales nativas donde se incluye el *Peltogyne purpurea* y se obtienen resultados de altura a los 11 meses de vivero de 15.3 cm y de igual manera se declara que es un árbol de crecimiento lento (Maraz *et al*., 1997).

En cuanto al crecimiento en diámetro del *Peltogyne purpurea* en vivero no hay mucha información, en este estudio durante los tres meses de mediciones se encontraron medidas de 1,3 mm, iniciando el período de toma de la información y 1,7 mm máximo al finalizar el período de las mediciones, estos son datos alentadores comparados con los resultados obtenidos en el trabajo realizado por Aguilar, Carrión & Takano (2000) en Panamá donde registraron crecimiento en diámetro de 3,4 mm en un período de 11 meses. Se cree que en siete (7) meses más de mediciones en el vivero la planta puede desarrollar un diámetro mayor que los ya registrados.

La cantidad de hojas de las plántulas de Peltogyne en el vivero, iniciaron en la primera medida mínima con 1,8 hojas en promedio y finaliza la medición con 2,6 hojas máximo a los tres meses de mediciones. Hasta el momento los estudios no muestran resultados de conteo de hojas en vivero, los pocos trabajos que hay solo midieron altura y diámetro. Cabe anotar que el sustrato donde mejor se comportó la plántula de Peltogyne fue en el sustrato D compuesto por tierra y arena, esto en cuanto al número de hojas.

Para la sobrevivencia, de igual manera hubo comportamiento variado. Se inició el estudio con ochocientas (800) plántulas en total y doscientas (200) por tratamiento de las cuales se obtuvieron mortalidades bastante altas en los diferentes tratamientos. Hasta el momento no se encuentran reportes de estudios en vivero sobre la sobrevivencia, solo en campo en bosques naturales, reportan alta mortalidad de estas plantas de peltogyne en la categoría de brinsales (Vilches & Rocha, 2005)

Por otra parte el comportamiento de los sustratos en este trabajo estuvo marcado por el sustrato D compuesto por tierra y arena lo que hace pensar que el árbol de Peltogyne no necesita un sustrato en especial para su desarrollo en vivero o igual en campo. No se descarta las bondades y ventajas de la gallinaza y la codornaza que igual son materiales orgánicos que cumplen con las condiciones adecuadas para ser utilizado como sustrato, pero en el caso del peltogyne no es necesario hacer este gasto, al parecer la plántula por su adaptación al medio tiene la capacidad de extraer los nutrientes de suelos con escases de ciertos minerales y con abundancia de otros.

## Conclusiones

Para las condiciones ambientales, bajo las cuales se realizó la investigación, se puede concluir que la especie presenta un crecimiento lento, lo cual puede deberse al largo periodo que se requiere para completar las diferentes etapas del periodo fenológico de la misma, el cual se encuentra entre los 25 y 30 años. Pese a los niveles de crecimiento encontrados, la información proporciona una importante alternativa para la recuperación de la especie, la cual se encuentra en los libros rojos (vía de extinción) tanto de nivel nacional como regional.

Por ser una especie maderable de un aprovechamiento retardado es un árbol que necesita pasar un tiempo más largo en vivero, lo que ayudaría a obtener plántulas con mayores dimensiones diametrales y por ende su número de hojas sería mucho mayor, esto contribuye a tener plantas con mucho vigor y en condiciones óptimas para llevar a campo.

Los cuidados en el vivero deben ser iguales a cualquier cultivo y es necesario hacer riego si la época lo amerita, las plantas mueren con facilidad luego del trasplante, el sol es un enemigo directo en esta etapa de siembra al vivero de allí la importancia de la maya polisombra.

Para la instalación del vivero no es necesario trabajar con sustratos diferentes a suelo y arena pues es una planta que está adaptada a condiciones de escases nutricional y responde bien al sustrato tierra y arena, los demás sustratos no son malos pero no presentaron rendimientos superiores a los de tierra y arena.

## Literatura citada


1. Araméndiz, T. H. (2013). Efecto de diferentes sustratos en la calidad de plántulas de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Revista colombiana de Ciencias Hortícolas* – 7 (1): 55-61.
2. Arias, J. (2008). Análisis del comportamiento de dos variedades de arvejas (*Pisum sativum* L.) tipo decumbente, bajo dos métodos de siembre y tres tipos de fertilización orgánica complementaria, en la parroquia Puembo Cantón Quito. Tesis para optar al título de Agrónomo. Pontificia Universidad Católica del ecuador. Ecuador.
3. Cárdenas, L. D. & Salinas, N. R. (eds.). (2007). Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 p.
4. Cordero, J., Boschier, D. (2003). Arboles de centro América, un manual para extensionistas. *Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza*. Bib. Orton IICA / CATIE, 1079 Pg. Costa Rica.
5. Díaz, D. E. & Tesón, N. (2001). "Ensayo de sustratos y fertilizantes para la producción de plantas de algarrobo amarillo *Prosopisnigravar. ragonesei* en vivero". Poster. XVI Jornadas forestales de Entre Ríos. Recuperado de: <http://64.76.123.202/new/0-0/forestacion/biblos/pdf/2001/posters%202001/126 %20Poster%209%20 Diaz%20-teson%20Prosopis.pdf>
6. Díaz, A. (2009). Diseño estadístico de experimentos. Ed: Universidad De Antioquia. Medellín. ISBN: 9586553043.
7. Díez, G. M. & Moreno, H. F. (1998). Morfología de semillas y plántulas de árboles de los bosques húmedos tropicales del suroriente de Antioquia, Colombia (II parte). *Revista Nacional de Agronomía*. Universidad Nacional sede Medellín. 51 (2): 9-50.
8. Estrada, J.E., Bescós, P. & Villar Del Fresno, A.M. (2001), Antioxidant activity of different fractions of Spirulina platensis protean extract. *Il Farmaco*, (56): 497-500.
9. Estrada, M. M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. *Revista Lasallista de Investigación*, 2 (1): 43-49.
10. Flórez Vélez, L. & Ospina, G. L. H. (2010). Productora de Huevos de Codorniz "KEPAU S.A.S." Institución Universitaria CEIPA. 110p. Sabaneta.
11. García, H., Moreno, L. A., Londoño, C. & Sofrony, C. (2010). Estrategia nacional para la conservación de plantas. Ed. *IAVH.* Bogotá. ISBN: 978-958-8343-50-1. 160 p.
12. Gentry, A. H. (1993). The useful plants of Tambopata, Peru: I. Statistical hypothesis tested with a new quantitative technique. *Economic Botany* 47 (1): 15-32.
13. Jiménez, Q. (1995). Especies de Costa Rica. INBio Instituto Nacional de la Biodiversidad. ISBN 9968702706. Pg. 336-346. Costa Rica
14. Jiménez, Q. (1999). Árboles maderables en peligro de extinción en Costa Rica. 2ª ed. Sto. Domingo de Heredia, CR, Instituto Nacional de Biodiversidad. 187. Costa Rica
15. Lobo, Ds., Pereira, Ib., Fragel-Madeira, L., Medeiros, Ln., Cabral, Lm., Faria, J. *et al*. (2007). Antifungal Pisum sativum defensin 1 interacts with Neurospora crassa cyclin F related to the cell cycle. *Biochemistry* 46(4):987-996.
16. Maráz, L., Oppawsky, T., Oppelt, A., Pickl, S, Rank, I., Schmid, J. & Stein, R. (1997). "Ecología de bosques tropicales. Descripción de siete especies forestales nativas del bosque húmedo tropical en el sur de Costa Rica", Programa de Acompañamiento en Ecología Tropical, Cátedra de Botánica de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Ludwig-Maximilian, Munich. Costa Rica
17. Martel, L. E. & Alván, P. G. C. (2011). *Manual técnico para el desarrollo forestal del valle del palcazú.* Informe de proyecto Reforestación bajo el sistema Agro-silvopastoril en el valle del Palcazú, Perú. Recuperado de: http://www.pepp.gob.pe/manuales/manual_agroforestal_palcazu.pdf
18. Moreno, H. F. (1996). Estudio fenológico y de propagación de 10 especies arbóreas de los bosques tropicales del suroriente antioqueño con fines de conservación. Ed. *Universidad Nacional de Colombia*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Posgrado en Bosques y Conservación Ambiental. 125 Pg. Medellín.
19. Pérez, A. Céspedes, C. & Núñez, P. (2008) Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *R.C.Suelo Nutr. Veg*. 8 (4): 10-29.
20. Rocha, R., Vieira, A., Spinelli, V. & Vieira, J. (2011). Caracterização de fatores que afetam a germinação de teca (Tectona grandis): temperatura e escarificação. *Rev.* Árvore*, Viçosa-MG*. 35(2):205-212.
21. Rodríguez, R (2010) Manual de prácticas de viveros forestales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Colección "Manuales de Ingeniería Forestal". Primera Edición, México. 52 Pg. México.
22. Rodríguez, M. & Sibille, A. (1996). Manual de Identificación de Especies. Ministerio de Agricultura, INIA, Instituto Nacional de Investigación Agraria, Organización Internacional de las Maderas Tropicales, OIMT. Lima Perú. Recuperado de: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjW3Yi-xMDMAhWI2T4KHZ08CLUQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itto.int%2Ffiles%2Fitto_project_db_input%2F2448%2FTechnical%2FS-PD-150-91-R1-I-Manual%2520de%2520Identificaci%25C3%25B3n-1.pdf&usg=AFQjCNH4ftVSN4VAS0kV9laK_UdC8QA9ew
23. Rojas, A. (2011). Nazareno especie en extinción, pero utilizada comercialmente. Periodista M&M. Recuperado de: http://www.revista-mm.com/ediciones/rev62/especie_nazareno.pdf
24. Salinas, R. (2013). Abonos con gallinaza para diferentes zonas bioclimáticas. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería. Programa de Ingeniería de Alimentos. Módulo diseño experimental. 112 Pg. Bogotá.
25. Universidad Nacional Agraria (2007). Escuela de Post-Grado. Estadística Aplicada a la Forestería II.

Recuperado de: http://docplayer.es/10945156-Universidad-nacional-agraria-escuela-de-post-grado-estadistica-aplicada-a-la-foresteria-ii-indice-de-temas.html

**26.** Vílchez, B. & Rocha, O. (2005). Estructura de una población del árbol Peltogyne purpurea (Cesalpinaceae) en un bosque intervenido de la Península de Osa, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop*. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) 54 (3): 1019-1029

**27.** Vilches, B & Rocha, O. (2004). Fenología y biología reproductiva del nazareno (*Peltogyne purpurea* Pittier) en un bosque intervenido de la Península de Osa, Costa Rica, América Central. *Revista Forestal Kurú* (Costa Rica) 1 (1): 3-17

**28.** Villa, G, A, M & Ramírez, Q. J. F. (2006). Caracterización diamétrica de las especies maderables en bosques primarios del cerro murrucucú. *Gestión y ambiente*, 9 (2): 73-90.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 30 de enero de 2015
Aceptado: 23 de marzo de 2015

# Cómo citar los artículos publicados en el volumen 6

**Volumen 6 Número 1 enero-junio 2015**

***Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia***

Andrade, H.J., Segura, M.A. & Varona, J.P. (2015). Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 19-28.

***Disponibilidad de Ca2+, Mg2+ y K+ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia***

Lince Salazar, L.A., Rodríguez Valencia, N. & Sadeghian Khalajabad, S. (2015). Disponibilidad de Ca2+, Mg2+ y K+ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 29-42.

***Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia***

Salamanca Jiménez, A. & Amézquita Collazos, E. (2015). Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 43-52.

***Efecto de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en árboles pioneros de la región oriental de América del Norte***

Lasso-Rivas, N. (2015). Efecto de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en árboles pioneros de la región oriental de América del Norte. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 53-66.

***Conservación in vitro: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos***

Bonilla Morales, M.M., Mancipe Murillo, C. & Aguirre Morales, A.C. (2015). Conservación in vitro: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 67-82.

***Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada***

Montenegro Gómez, S.M., Ararat, M.C. & Betancur, J.F. (2015). Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 83-90.

***Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies***

Bonilla Morales, M.M., Aguirre Morales, A.C. & Agudelo Varela, O.M. (2015). Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 91-110.

***Método preliminar de detección de patógenos biológicos en cultivos de fresa por medio del procesamiento digital de imágenes***

Amaya Hurtado, D. & Sandino Mora, J.D. (2015). Método preliminar de detección de patógenos biológicos en cultivos de fresa por medio del procesamiento digital de imágenes. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 111-122.

***Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia***

Doria Argumedo, C. & Deluque Viloria, H. (2015). Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 123-132.

***Sistemas de transmisión del conocimiento etnobotánico de plantas silvestres comestibles en Turbo, Antioquia, Colombia***

Mosquera Mena, R.A., Santamaría Polo, T. & López Almansa, J.C. (2015). Sistemas de transmisión del conocimiento etnobotánico de plantas silvestres comestibles en Turbo, Antioquia, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 133-144.

***Parámetros de calidad durante la cosecha de durazno (Prunus persica L. Batsch cv. "RUBIDOUX")***

Bastidas Parrado, L.A., Puentes Montañez, G.A. & Lemus Cerón, A. (2015). Parámetros de calidad durante la cosecha de durazno (Prunus persica L. Batsch cv. "RUBIDOUX"). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 145-154.

***Características, manejo, usos y beneficios del saúco (Sambucus nigra L) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del trópico alto***

Grajales Atehortúa, B.M, Botero Galvis, M.M. & Ramírez Quirama, J.F. (2015). Características, manejo, usos y beneficios del saúco (Sambucus nigra L.) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del trópico alto. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 155-168.

***Modelación hidrodinámica y determinación de calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia***

Antonio Paiba, A.O. & Monroy Ávila, E.F. (2015). Modelación hidrodinámica y determinación de calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 169-184.

***Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (Cucurbita maxima var. Unapal- Mandarino)***

Menjivar-Flores, J.C., Enciso Murillo, C.F. & Martínez Córdoba, H.E. (2015). Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (Cucurbita maxima var. Unapal-Mandarino). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIA*A, 6 (1), enero-junio, 185-198.

***Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia***

Gutiérrez Malaxechebarría, A.M., Zambrano Rodríguez, Y. & Ospina Hoyos, L. (2015). Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 199-214.

***Proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo endógeno de dos comunidades de Puerto Padre, Cuba***

Parra Batista, I., Altabás-Jorge, R. & Muchuly Cabrera, I. (2015). Proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo endógeno de dos comunidades de Puerto Padre, Cuba. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 215-226.

***Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia***

Sierra Roncancio, S.S., Cano Muñoz, J.G. & Rojas Sánchez, F. (2015). Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 227-238.

***Condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos de la Granja Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colombia***

González Jiménez, G. & Choque Ladino, N. (2015). Condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos de la Granja Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (1), enero-junio, 239-254.

***Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia***

Quintana Fuentes, L.F., Gómez Castelblanco, S., García Jerez, A. & Martínez Guerrero, N. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIA*A, 6 (1), enero-junio, 255-266.

***Acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, en el páramo de la región del Guavio, Cundinamarca, Colombia***

Mendoza Velásquez, S.A., Cano Muñoz, J.G. & Rojas Sánchez, F. (2015). Acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, en el páramo de la región del Guavio, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIA*A, 6 (1), enero-junio, 267-280.

**Volumen 6 Número 2 julio-diciembre 2015**

***Producción de café (Coffea arabica L.) en respuesta al manejo específico de la fertilidad del suelo***

Lince Salazar, L.A. & Sadeghian khalajabad, S. (2015). Producción de café (*Coffea arabica L.*) en respuesta al manejo específico de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 19-30.

***Evaluación de sustratos orgánicos para la aclimatación y endurecimiento de vitroplantas de yuca (Manihot esculenta Crantz)***

Bonilla Morales, M.M., Sánchez Ordoñez, S.O. & Pachón García, J. (2015). Evaluación de sustratos orgánicos para la aclimatación y endurecimiento de vitroplantas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIA*A, 6 (2), julio-diciembre, 31-36.

***Contenido y distribución de macronutrientes en caléndula (Caléndula officinalis L.) en el Valle del Cauca, Colombia***

García Vivas, Y.S., Menjivar Flores, J.C., Sánchez Orozco M.S. & Bonilla Correa C.R. (2015). Contenido y distribución de macronutrientes en caléndula (*Caléndula officinalis* L.) en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 37-46.

***Contribución de Vigna unguiculata L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar***

Sanclemente Reyes, O.E., Ararát Orozco, M.C. & De la cruz Cardona, C.A. (2015). Contribución de *Vigna unguiculata* L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 47-56.

***Aprovechamiento forestal maderable en cuatro municipios del departamento de Chocó, Colombia***

Martínez Guardia, M., Torres Torres, J.J. & Medina Arroyo, H.H. (2015). Aprovechamiento forestal maderable en cuatro municipios del departamento de Chocó, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 57-74.

***Asociaciones de poliquetos de fondos blandos en la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano***

Popayán Hernández, J.G. (2015). Asociaciones de poliquetos de fondos blandos en la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 75-84.

***Diagnóstico y monitoreo de leptospirosis en Latinoamérica***

Moreno Foglia, O., Trujillo Salinas, C., Maia Cavalcante, C.A. & Torres Romero, J.C. (2015). Diagnóstico y monitoreo de leptospirosis en Latinoamérica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 85-96.

**Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano**

Montenegro Gómez, S.P. & Hernández Ossa, Y.K. (2015). Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 97-108.

***Resistencia a los antibióticos beta-lactámicos Carbapenems mediada por el gen $bla_{KPC}$ en Klebsiella pneumoniae***

Falco Restrepo, A.D. & Aranaga Arias, C.A. (2015). Resistencia a los antibióticos beta-lactámicos Carbapenems mediada por el gen blaKPC en Klebsiella pneumoniae. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (2), julio-diciembre, 109-118.

***Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia***

Forero Acosta, G. (2015). Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (2), julio-diciembre, 119-144.

***Restauración ecológica en plantaciones forestales de Eucalyptus globulus Labill y Acacia melanoxylon R. Br.***

Guio Cortés, L.R., Solorza Bejarano, J. & Leal Mejía, L.Y. (2015). Restauración ecológica en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus Labill* y *Acacia melanoxylon* R. Br. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (2), julio-diciembre, 145-156.

***Remoción de carga contaminante en aguas residuales industriales a escala de laboratorio***

Peña Hernandez, G.A., Cuesta Gonzalez, F.A. & Betancur Pérez, J.F. (2015). Remoción de carga contaminante en aguas residuales industriales a escala de laboratorio. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (2), julio-diciembre, 157-168.

***Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos***

Granada, C.A. & Prada Millán, Y. (2015). Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (2), julio-diciembre, 169-182.

***Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar, Colombia***

Dearmas Duarte, D. & Ramírez Hernández, L.F. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 183-196.

***Biomasa aérea almacenada en Ficus soatensis y Tecoma stans en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, Colombia***

Gracia Rojas, J.P. & Cantillo Higuera, E.E. (2015). Biomasa aérea almacenada en *Ficus soatensis* y *Tecoma stans* en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 197-220.

***Elaboración de néctar de durazno (Prunus pérsica L), endulzado con sucralosa como aprovechamiento de pérdidas poscosecha***

Pinto Medina, D.A., Lemus Cerón, A.J. & Puentes Montañez, G.A. (2015). Elaboración de néctar de durazno (*Prunus pérsica L*), endulzado con sucralosa como aprovechamiento de pérdidas poscosecha. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 221-230.

***Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico.***

Umbarila Valencia, L.P., Alfonso Moreno, F.L. & Rivera Rodríguez, J.C. (2015). Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIA*A, 6 (2), julio-diciembre, 231-242.

**Valoración de impactos ecológicos por minería de oro en río Guabas, Valle del Cauca, Colombia**

Gamboa García, D.G. (2015). Valoración de impactos ecológicos por minería de oro en río Guabas, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 243-254.

**Miniestacas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz): hacia un eficiente sistema de propagación en cultivo de tejidos**

Bonilla Morales, M.M., Sánchez Ordoñez, S.A. & Pachón García, J. (2015). Miniestacas de yuca (Manihot esculenta Crantz): hacia un eficiente sistema de propagación en cultivo de tejidos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 255-260.

**Evaluación del desarrollo en vivero de *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno)**

Mosquera Mesa, R.A. & Ruíz Florez, L.A. (2015). Evaluación del desarrollo en vivero de Peltogyne purpurea Pittier (Nazareno). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 6 (2), julio-diciembre, 261-274.

# Instrucciones para los Autores

## Público al que se dirige

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) es una publicación oficial de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), destinada a publicar artículos resultantes de investigaciones originales en el área agraria y ambiental y en las áreas de conocimiento afines, en temas relacionados con los avances en producción animal, agricultura y uso sostenible de los recursos naturales. Como ejemplos de áreas afines citamos, entre otras, ética, ecología, sociología, geografía, historia, derecho, educación y economía, cuando se ocupan de perspectivas del desarrollo, de estilos de agricultura, de historia agraria, de desarrollo sustentable, de bioética y ética ambiental, de educación ambiental y extensión rural, de política agraria y ambiental, de legislación ambiental, forestal y agraria o de contribuciones significativas e innovadoras con visión sistémica, interdisciplinaria y/o transdisciplinaria. La publicación circula en formato impreso y en forma electrónica con acceso libre (http://riaa.unad.edu.co/).

## Misión

La misión de RIAA es fomentar la comunicación y colaboración entre investigadores nacionales e internacionales a través de la divulgación y transferencia de conocimiento relacionado con las ciencias agrarias y del medio ambiente, con el fin de fortalecer la generación de nuevo conocimiento.

## Temáticas de la revista

Los artículos publicados en RIAA se encuentran dentro de temas relacionados con

1. Agroecología
2. Fisiología y Nutrición animal
3. Etología y bienestar animal
4. Modelos de producción sostenible
5. Impacto ambiental de los sistemas de producción
6. Uso y manejo del suelo
7. Desarrollo rural, Educación y Proyección social
8. Biotecnología y energías alternativas
9. Sistemas Agroforestales
10. Agroforestería, Agrobiodiversidad

11. Impacto ambiental
12. Higiene y seguridad laboral
13. Principios y estrategias de gestión ambiental
14. Tecnologías limpias
15. Modelación Ambiental
16. Residuos sólidos
17. Manejo de recursos naturales
18. Riegos y drenajes
19. Dendrología
20. Gestión integral de residuos sólidos

## Proceso de arbitraje de los artículos

El editor recibe los manuscritos postulados para publicación y revisa que estén orientados a las temáticas de RIAA y conforme a las normas de publicación. Después de esto, los originales pasan al Comité Editorial para designación de pares externos. Todo original se somete a arbitraje en la modalidad de doble ciego, al menos por dos pares, los cuales deben ser académicos, especialistas o árbitros ad hoc. De acuerdo con el dictamen de los pares (el cual se registra en el formato para concepto de evaluación), se solicita o no a los autores la realización de modificaciones mayores o menores y la adecuación de los originales a la política editorial de la revista. En caso de que un documento presente un concepto favorable y otro desfavorable, será enviado a un tercer evaluador cuya opinión será definitiva, siendo el Comité Editorial el encargado de dirimir cualquier controversia que se presente con respecto a las evaluaciones, y es la instancia que decide qué artículos serán publicados. Las decisiones del Comité Editorial son inapelables. Las correcciones ortográficas en el texto pueden ser hechas directamente por el Comité Editorial de la revista, sin consultar a los autores. Sin embargo, una versión final antes de impresión y/o publicación en la página web de la RIAA será enviada a los autores para su aprobación. Se considera que la versión final es aceptada si el autor no responde en los tiempos estimados.

## Periodicidad

RIAA es una publicación semestral (enero-junio y julio-diciembre).

## Política de acceso libre

RIAA proporciona acceso público y gratuito a todo su contenido con el fin de promover un mayor intercambio global del conocimiento y fomentar la lectura y citación de los originales publicados. RIAA no tolera ninguna forma de plagio (total, parcial o conceptual). En caso de identificar algún plagio, además de informar al autor el retiro del artículo, buscará advertir a los autores plagiados. RIAA se acoge a lo establecido en la política de plagio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

## Cesión de derechos

Cuando RIAA recibe la postulación de un original por parte de su autor, ya sea a través de correo electrónico o postal, considera que puede publicarse en formatos físicos y/o electrónicos y facilitar su inclusión en bases de datos, hemerotecas y demás sistemas y procesos de indexación. RIAA autoriza la reproducción y citación del material de la revista, siempre y cuando se indique de manera explícita el nombre de la revista, los autores, el título del artículo, volumen, número y páginas. Las ideas y conceptos expresados en los artículos son responsabilidad de los autores y en ningún caso reflejan las políticas institucionales de la UNAD.

## Originalidad y exclusividad

Los originales presentados para su publicación en RIAA no deben estar postulados, aceptados o publicados simultáneamente en otra revista. Los autores deben diligenciar, firmar y entregar la carta de exigencia de originalidad del artículo.

## Información general

Los manuscritos deben ser presentados como documento de texto, en MS Word, con las normas de estilo de la *American Psychological Association*

(APA), 3ª edición en Español o 6ª en Inglés. Se recomienda que la extensión de los manuscritos postulados para publicación no exceda 15 páginas.

**Idioma:** Los manuscritos enviados pueden estar escritos en portugués, español o inglés.

## Presentación del manuscrito

**Página de título:** El objetivo de esta página es reunir los elementos claves del manuscrito. Debe incluir los ítems señalados a continuación.

**Título del artículo**. Debe ser claro, preciso e informativo, procurando no excederse de 20 palabras. Los nombres científicos deben ir escritos en letra cursiva, de acuerdo con la nomenclatura científica. Evite el uso de abreviaturas y fórmulas.

**Autor(es)**. Escriba el nombre completo de cada autor, especificando el nombre, primer y segundo apellido. En el siguiente renglón, especifique la institución de afiliación (donde el trabajo enviado fue realizado), la dirección y el país. Indique el correo electrónico de cada autor. Una vez enviado el manuscrito a evaluación, la lista de autores no puede ser modificada.

**Correspondencia.** Al final de la página señale el autor responsable de la correspondencia del manuscrito indicando el nombre, teléfono, fax (con códigos de área), dirección completa y el correo electrónico. El autor de correspondencia es aquel que se va a encargar de mantener contacto con la revista durante todo el proceso de revisión y publicación.

## Página de encabezado

**Título del artículo.** Es el mismo reportado en la página de título.

**Resumen.** Debe tener un máximo de 250 palabras. Deberá ofrecer una idea clara del contenido del artículo. El resumen debe describir brevemente los objetivos de la investigación, los métodos, los principales resultados y puntos de discusión y las conclusiones. Evite el uso de abreviaturas. El resumen no debe contener referencias, a menos que sean estrictamente necesarias, en cuyo caso debe incluir la cita completa.

**Palabras clave.** Indique las palabras clave que sirvan como guía para la clasificación del artículo y faciliten la elaboración del índice de materias. Se sugiere emplear un máximo de cinco palabras, las cuales deben presentarse en orden alfabético. Evite el uso de palabras en plural y frases. No repita palabras que ya hayan sido usadas en el título.

**Abstract.** Corresponde al resumen del manuscrito traducido al inglés. Debe poseer una estructura y contenido igual al especificado en español o portugués.

**Key Words.** Palabras clave en inglés. Deben ser las mismas usadas en español, pero en idioma inglés. Deben presentarse en orden alfabético.

## Cuerpo del artículo de investigación científica y tecnológica

**Introducción**. Debe indicar claramente los objetivos del trabajo y proporcionar los antecedentes necesarios para dar contexto internacional al estudio realizado. Debe incluir la revisión de literatura con las investigaciones más recientes que aportaron ideas fundamentales para el planteamiento y desarrollo del trabajo. En esta sección no se deben incluir datos ni conclusiones del trabajo que está dando a conocer.

**Materiales y métodos**. La presentación debe ser clara, concreta y suficientemente detallada para que el trabajo pueda ser reproducido. Debe describir los procedimientos empleados en la investigación, incluyendo diseño estadístico y análisis de datos. Esta sección deberá estructurarse indicando tipo de estudio, sitio, condiciones geoclimáticas, coordenadas del sitio de estudio, animales de estudio, métodos de laboratorio, aspectos éticos, etc.

En caso de haber usado un método ya publicado, sólo debe indicarse la referencia; en tal caso, únicamente las modificaciones relevantes deben ser incluidas en la descripción. Las cifras menores de diez deben escribirse en letras y las mayores, en números.

**Resultados**. Corresponde a la información concisa de los hallazgos de la investigación. No se deben incluir comentarios ni referencias a otros trabajos. La información presentada debe seguir una secuencia lógica en el texto, tablas e ilustraciones, de acuerdo a la forma como se presentaron los métodos. No se debe duplicar información en el texto, tablas o ilustraciones.

**Discusión y conclusiones.** Es la interpretación de los resultados obtenidos. Indique las contribuciones significativas de su estudio, las limitaciones, ventajas y posibles aplicaciones. Discuta sus resultados a la luz de investigaciones internacionales y señale el mayor aporte de la investigación y las consecuencias ambientales. Resalte las conclusiones del estudio, así como las recomendaciones para futuras investigaciones.

**Agradecimientos.** Esta sección se utilizará para hacer un reconocimiento a aquellas personas o instituciones que han hecho contribuciones sustanciales al trabajo o han prestado asistencia en la investigación (técnica, financiera, logística, intelectual, entre otras.). Los agradecimientos deben ir como una sección separada después de la discusión y antes de las referencias, en un párrafo que es opcional.

**Literatura citada.** Asegúrese de que todas las referencias citadas en el texto estén en la lista de referencias y viceversa. Tenga en cuenta que no se admitirán artículos sin referencias. Un 60% de las citas debe provenir de investigaciones publicadas en los últimos 10 años. Siga el formato que establece la revista para hacer citas, el cual aparece más adelante en la sección Literatura citada.

**Nota**: En algunos casos el Comité Editorial puede aceptar manuscritos con la siguiente estructura: Introducción, Materiales y métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura citada.

Se recomienda una extensión de 6000 palabras.

## Cuerpo del artículo de reflexión

Un artículo de reflexión es un texto donde el autor presenta resultados de una investigación con una perspectiva analítica, interpretativa y crítica, basado en observaciones o fuentes originales. **Estructura**: Introducción, Planteamiento de la temática, Desarrollo, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura citada.

## Cuerpo del artículo de revisión

Un artículo de revisión es la sistematización, análisis y balance de lo investigado sobre un problema en particular y tiene por objeto dar cuenta de sus referentes conceptuales, metodológicos y epistemológicos, además de los avances y tendencias del campo investigado. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión analítica de por lo menos 50 referencias bibliográficas. Un 60% de la literatura citada debe provenir de investigaciones publicadas en los últimos 2 años. **Estructura**: Introducción, Planteamiento de la temática, Recuperación bibliográfica, Tendencias en el campo de conocimiento, Conclusiones, Agradecimientos y Literatura citada.

## Consideraciones de formato

**Figuras y tablas**. Los títulos de ambas deben estar centrados, en letra cursiva, tamaño de 10 puntos y numerados en arábigos. Tanto las tablas como las figuras deben ocupar el lugar más adecuado dentro del texto.

**Figuras:** Dentro del texto refiérase a la figura de la siguiente forma: (Figura 1). Las figuras deben ir sin líneas de división tanto en las abscisas como en las ordenadas y sin volumen ni sombra (barras

o puntos en tres dimensiones), a menos que haya más de dos ejes. Los ejes y señaladores deben ser claros y grandes. Cada figura debe tener su correspondiente leyenda. Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados en la leyenda de la figura. Las figuras deben ser enviadas en formato .jpg o .gif, y deben tener la calidad necesaria para su publicación (más de 300dpi). Sólo se aceptarán figuras en blanco y negro.

**Tablas:** Dentro del texto refiérase a la tabla de la siguiente forma: (Tabla 1). Presente los datos en una tabla real con líneas y columnas, a doble espacio, sin divisiones verticales ni divisiones internas. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI). Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados como notas al pie en cada tabla. En ningún caso se admitirán tablas en formato apaisado.

**Ecuaciones**. Deben ir justificadas a la izquierda y numeradas consecutivamente. Utilice el Editor de Ecuaciones de Word 2003. El significado de cada símbolo debe aclararse en el texto del manuscrito.

**Pie de página**. No haga uso de este recurso en ninguna página.

**Nomenclatura y unidades**. Use las reglas y convenciones internacionales según el Sistema Internacional de Unidades (SI). Los nombres comunes de las especies deben ser reportados en minúsculas, seguidos del nombre científico de la especie entre paréntesis. Los nombres científicos deben presentarse en letra cursiva. Después de la primera mención, los géneros deben limitarse a la primera letra.

**Literatura citada**. En el cuerpo del artículo las referencias se citarán por el apellido del autor y el año de publicación separados por una coma y entre paréntesis. Las referencias se incluirán al final del texto como un apartado más del mismo, listadas en orden alfabético, con sangría francesa. Las referencias electrónicas deben estar respaldadas por instituciones científicas; no se aceptan como referencias aquellos documentos que provengan de casas comerciales o páginas Web privadas. Las citas se deben elaborar de acuerdo con las normas APA, ejemplos de las cuales se presentan a continuación:

**Artículo de una revista:**
Skinner, M. (2005). Regulation of primordial follicle assembly and development. *Human Reproduction,* volumen (número), 461-471. Ciudad, país: Editorial.

**Libro completo:**
Gomella, C. & Guerree*, H.* (1977)*. Tratamiento de aguas para abastecimiento público.* Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados.

**Capítulo de un libro:**
Casanovas, E., Novoa, R., Socorro, A., Parets, E., González, M. & Liriano, R. (2007). Crianza porcina en la agricultura urbana de Cienfuegos (Cuba). En G. Castro (Ed.), *Porcicultura urbana y periurbana en ciudades de América latina y el Caribe* (pp. 19-24). Lima, Perú: Editorial.

**Tesis y Trabajos de grado:**
Niño, P. (2011). Modelos de reciclaje de residuos. Maestría en…, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

**Documentos de congresos o seminarios:**
De Souza, J. (2010). Construir un día después del desarrollo. En L. Carvalho (autoridad máxima del congreso), *Tercer Congreso Nacional de Educación Rural llevado a cabo en ciudad, país.*

**Documentos en Internet*:** Merzthal, G. (2004). *Marco normativo y legal para la agricultura urbana.* Recuperado de http://www.bibliotecaverda.wikieco.org/cuaderno142.pdf

*Solo utilice fuentes electrónicas que correspondan a publicaciones con respaldo institucional, cuyo contenido no pueda ser modificado o eliminado en el futuro. No utilice información proveniente de páginas comerciales o sitios de opinión.

**Nota:**
Cuando no se disponga de los datos básicos de publicación de un escrito, se debe incluir la respectiva página web, o en su defecto el doi, o si no el PMID. Los autores asumen la responsabilidad de devolver a la revista las correcciones de las artes finales de su artículo a la mayor brevedad posible. El Comité Editorial se toma la libertad de publicar o no, suplementos para apoyar la publicación de resúmenes en eventos científicos nacionales e internacionales.

# Instructions to authors for the presentation of research articles

## I. General Information

Manuscripts should be submitted as a text document in MS Word, with the following style rules:

* Letter size paper
* Times New Roman font, size 12.
* Paragraph double spacing.
* Left justified.
* 2.5 cm margins on all sides.
* Headers or footers are not allowed.
* The titles of the different sections and subsections of the article should be numerically sorted. Do not hold caps or bold letters.
* Use continuous numbering of lines in the whole document.
* Consecutively number all pages of the document, including title page, references, charts, figures, etc.
* Do not use *italics* to indicate words of Latin origin such as “in vivo”, “et al”., “Per se”.
* Use decimal points (not commas).
* Make sure that each new paragraph is well indicated.

## II. Language

The presented manuscripts may be written in Spanish or English. In either case, make sure they are well written.

## III. Manuscript Presentation

**A. Title page.** The purpose of this page is to bring together the key elements of the manuscript. You must include the items listed below.

**1. Article title.** It should be clear, precise and informative, taking care not to exceed 20 words. Scientific names should be written in *italics*, according to the scientific nomenclature. Avoid using abbreviations and formulas.

**2. Author(s).** Enter the full name of each author, specifying the first and last name. On the next line, specify the institutional affiliation (where the submitted work was completed), address and

country. Enter the email of each author. After submitting the manuscript for evaluation, the list of authors cannot be changed.

**3. Correspondence.** At the bottom of the page indicate the author responsible for manuscript correspondence including name, telephone, fax (with area code), complete address and email. The corresponding author is the one who will be responsible for maintaining contact with the journal during the whole reviewing and publication process.

## B. Header Page

1. **Title of the article.** The same as reported on the title page.

**2. Summary.** You must have a maximum of 250 words. A clear picture of the article contents should be provided. The summary should briefly describe the research objectives, methods, main findings and discussion points and conclusions. Avoid using abbreviations. The abstract should not contain references, unless strictly necessary, but in case it is needed the full citation must be included.

**3. Keywords.** Enter the key words in Spanish to serve as a guide to the classification of the article and facilitate the development of the index. Using a maximum of five (5) words is suggested, these should be presented in alphabetical order. Avoid using plural words and phrases. Do not repeat words that have already been used in the title.

**4. Abstract.** It corresponds to the abstract of the manuscript translated into English. It must have a structure and a similar context to the one specified in Spanish.

**5. Key Words.** Keywords in English. They must be the same used in Spanish, but in English. The should be presented in alphabetical order.

## C. Article Body

1. **Introduction.** It should clearly state the objective of the work and provide the necessary background to give an international context to the developed study. It should include a review of literature with the most recent research that contributed with fundamental ideas to the planning and development of the work. This section should not include data nor conclusions from the work that is being reported.

**2. Materials and methods.** The presentation should be clear, specific and detailed enough so the work can be reproduced. It should describe the procedures used in research, including statistical design and analysis. This section should be structured indicating type of study, place, geo-climatic conditions, geographical coordinates of the study site, animal studies, laboratory methods, ethical issues, etc. In this case it should have used an already published method, only the reference must be indicated, in which case, only relevant modifications should be included in the description. The numbers under ten (10) must be written and the higher ones to these must be enumerated.

**3. Results.** It corresponds to the concise findings of the research. Do not include comments or references to other works. The information presented should follow a logical sequence in the text, charts and illustrations, according to the form methods were presented. Do not duplicate information in the text, graphs or illustrations.

**4. Discussion and conclusions.** It is the interpretation of the obtained results. Indicate the significant contributions of the study, limitations, advantages and possible applications. Discuss your results in the light of international research and point to the greater contribution of the research and its environmental consequences. Highlight the study's conclusions and recommendations for future research.

**5. Acknowledgments.** This section will be used to recognize those individuals or institutions that have made substantial contributions to the work or that have provided technical assistance in the investigation (financial, logistics, intellectual, among others.). The acknowledgments should go as a separate section after the discussion and before the references. This paragraph is optional.

6. **References.** Make sure all references cited in the text are in the reference list and vice versa. Please note that items will not be accepted without references. Follow the established format for citations in the journal (Section 4. Cited Literature).

## D. Format Considerations

**1. Figures and Charts.** Figures and charts should be included along with the text of the manuscript on separate sheets at the end of the document, a figure or chart per page. Submit the title and legend of the figures and the title of the chart as a list in a separate section. Both charts and figures must be consecutively numbered and cited in the text with arabic numerals ..... ***i.* Figures:** Within the text refer to figure as it follows: (Fig. 1) Figures should not be lines of division in both the abscissa as in the ordinates and without volume or shadow (bars or points in three dimensions) unless there are more than two axles. Axles and signposts should be clear and large. Each figure must have a corresponding legend. Abbreviations and acronyms should be explained in the legend of the figure. Figures should be submitted in .jpg or .gif, and have the quality needed for publication (more than 300dpi) ..... ***ii.* Charts/Tables:** Within the text make reference to the chart as it follows: (Chart 1). Present data in a real chart with rows and columns, double-spaced without vertical divisions or divisions. You must use the International System of Units (SI). Abbreviations and acronyms should be explained as footnotes in each table. In no case shall there be tables in landscape format.

**2. Equations.** They should be left justified and numbered consecutively. The numbers should be right justified and enclosed in brackets ( ). Use the Equation Editor in Word 2003. The meaning of each symbol should be clarified in the text of the manuscript.

**3. Footer.** Do not use footnotes.

**4. Nomenclature and Units.** Use the rules and conventions: the International System of Units (SI). The common names of species should be reported in lowercase, followed by the scientific species name in parentheses. Scientific names should appear in italics. After their first mentioning, genders should be simplified to the first letter.

**E. Cited References.** In the body of the article text references are cited by author's surname and year of publication separated by a space and brackets ( ). In the case of quoting two authors use the symbol " & ". When the citation refers to more than two authors use the word "et al". Italicized. When citing more than one publication, it should be in chronological order and then alphabetically. For example, (Joe 1970, Alvarado & Gómez 1999, 2004, Oates 2001, Roberts 2004, Smith 2006, Albert et al. 2008).

References are included at the end of the text as one more headland of the same section, listed in alphabetical order, with french indent. Electronic references must be supported by scientific institutions; they won't be accepted as reference documents that come from commercial firms or private Web pages. Appointments will be documented according to the models listed below:

*** Published Arte:**

Halpern, S.D., P.A. Ubel & A.L. Caplan. 2003. Solid-organ transplantation in HIV-infected Patients. Engeniiering New England Journal, 347: 284-287

*** Article with supplement**:
Geraud, G., E.L. Spierings & C. Keywood. 2002. Tolerability and safety of frovatriptan with short-and long-term Treatment of migraine and used for in comparison with sumatriptan. Headache, 42 (Suppl 2): S93-9

*** Book**
F. 1982. Medical and surgical management. 2nd Ed W B Saunders, Philadelphia.

*** Book:**
Gilstrap, L.C., F.H. Cunningham & J.P. VanDorsten (Eds.). 2007. Operative obstetrics. 2nd Ed McGraw-Hill, New York.

*** Book Chapter:**
Meltzer, P.S., A. Kallioniemi & J.M. Trent. 2005. Chromosome Alterations in human solid tumors. In: Vogelstein B, Kinzler FG (Eds.). The genetic basis of human cancer. McGraw-Hill, New York, pp. 91-110

*** Graduate Thesis and Dissertations:** Gómez-Mayor M.S. 1989 violent mortality in the Judicial District of Alcalá de Henares [thesis / dissertation]. Alcalá de Henares: Faculty of Medicine, University of Alcala de Henares.

*** Internet *:**
T. Collum 1997. Supplementation Strategies for beef cattle. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A & M University System. Available online: http://agpublications.tamu.edu/pubs/eanim/b6067.pdf. [Include the date this document was consulted].

* Only use fonts that correspond to electronic serials, with institutional support, which contents cannot be changed or removed in the future. Do not use information from commercial sites or sites of opinion.

**Note:** Check that all references cited in the text appear in the literature cited section and vice versa.

**IV. Clarification Note**
The authors assume responsibility to return to the magazine the corrections of the final artwork (galleys) of the article, as soon as possible. The Editorial Board takes the liberty to publish or not, supplements to support the publication of abstracts in national and international scientific events.

**V. Manuscript submission.**
Manuscripts that are ready and in accordance with the format of the magazine, should be sent as an attachment to the riaa@unad.edu.co

# Instruções para os autores para a apresentação dos artigos de investigação

## I. Informação Geral

Os manuscritos devem ser apresentados em documento de texto, MS Word, com as seguintes normas de estilo:

- Papel tamanho Carta (21,59 x 27,94 cm) (8,5 x 11 in)
- Fonte Times New Roman, tamanho 12.
- Dupla espaçamento entre linhas.
- Alinhar o texto à esquerda.
- Margens de 2.5 cm em todos os lados.
- Não se admite cabeçalhos nem rodapés.
- Os títulos das diferentes secções e sub-secções do artigo devem estar ordenados numericamente. Não use maiúsculas em negrito.
- Use numeração contínua das linhas no documento todo.
- Numere consecutivamente todas as páginas do documento, incluindo a página do título, referências, tabelas, figuras, etc.
- Não use o itálico para indicar palavras oriundas do latim como in vivo, et al., Per se.
- Use pontos decimais (não virgulas)
- Assegure-se de que cada novo parágrafo fique bem indicado.

## II. Idioma

Os manuscritos enviados podem ser escritos em Espanhol ou Inglês. Em qualquer dos casos, tem que assegurar de que estão muito bem escritos.

## III. Apresentação do manuscrito

**A. Página do título.** O objectivo desta página é reunir os elementos-chave do manuscrito. Deve incluir os itens assinalados a seguir:

**1. Título do artigo**. Deve ser claro, preciso e informativo, procurando não exceder as 20 palavras. Os nomes científicos devem ser escritos em itálico, de acordo com a nomenclatura científica. Evite o uso de abreviaturas e fórmulas.

**2. Autor(es)**. Escreva o nome completo de cada autor, especificando o apelido, nome e sobrenome. Na próxima linha, especifique a afiliação institucional (onde o trabalho enviado foi realizado), o endereço e o país. Indique o e-mail de cada autor. Uma vez enviado o manuscrito para revisão, a lista de autores não pode ser modificada.

**3. Correspondência.** Na parte inferior da página assinale o autor responsável pela correspondência do manuscrito indicando o nome, telefone, fax (com os códigos da área), morada completa e e-mail. O autor da correspondência é aquele que vai estar encarregue de manter contacto com a revista durante todo o processo de revisão e publicação.

## B. Página do Cabeçalho

**1. Título do artigo.** O mesmo escrito na página do título.

**2. Resumo.** Deve ter um máximo de 250 palavras. Deverá oferecer uma ideia clara do conteúdo do artigo. O resumo deve descrever brevemente os objectivos da investigação, os métodos, os principais resultados e pontos de discussão e as conclusões. Evite o uso de abreviaturas. O resumo não deve conter referências, a não ser que sejam estritamente necessárias, neste caso deve incluir a citação completa.

**3. Palavras-chave.** Indique as palavras-chave em espanhol que sirvam como guia para a classificação do artigo e que facilitem a elaboração do índice de matérias. Sugiro usar um máximo de cinco (5) palavras, as quais devem apresentar-se em ordem alfabética. Evite o uso de palavras no plural e frases. Não repita palavras que já tenham sido usadas no título.

**4. Abstract.** Corresponde ao resumo do manuscrito traduzido em inglês. Deve ter uma estrutura e conteúdo igual ao especificado em espanhol.

**5. Key Words.** Palavras-chave em inglês. Devem ser as mesmas usadas em espanhol, mas no idioma inglês. Devem apresentar-se por ordem alfabética.

## C. Corpo do artigo

**1. Introdução.** Deve indicar claramente os objectivos dos trabalhos e proporcionar a base necessária para dar contexto internacional ao estudo realizado. Deve incluir a revisão da literatura com as investigações mais recentes que forneceram as ideias fundamentais para o planeamento e desenvolvimento do trabalho. Nesta secção não se deve incluir dados nem conclusões do trabalho que está dar a conhecer.

**2. Materiais e métodos**. A apresentação deve ser clara, concreta e suficientemente detalhada para que o trabalho possa ser reproduzido. Deve descrever os procedimentos empregues na investigação, incluindo delineamento estatístico e análise de dados. Esta secção deverá ser estruturada indicando o tipo de estudo, local, condições geoclimáticas, coordenadas do local dos estudos, animais de estudo, métodos de laboratório, aspectos éticos, etc. No caso de ter sido usado um método já publicado, só deve indicar a referência; neste caso, só as modificações relevantes devem ser incluídas na descrição. Os números inferiores a dez (10) devem estar escritos e os maiores devem estar numerados.

**3. Resultados**. Corresponde à informação concisa dos resultados da pesquisa. Não inclua comentários nem referências de outros trabalhos. A informação apresentada deve seguir uma sequência lógica no texto, tabelas e ilustrações, de acordo os métodos apresentados Não duplicar informação no texto, tabelas ou ilustrações.

**4. Discussão e conclusões.** É a interpretação dos resultados obtidos. Indique as contribuições significativas do seu estudo, as limitações, vantagens e as possíveis aplicações. Discuta os

resultados à luz das pesquisas internacionais e que traga uma maior contribuição para a pesquisa e as consequências ambientais. Destaque as consequências do estudo, assim como as recomendações para futuras pesquisas.

**5. Agradecimentos.** Esta secção é utilizada para dar reconhecimento aquelas pessoas ou instituições que tenham feito substanciais contribuições para o trabalho ou tenham prestado assistência técnica na investigação (financeira, logística, intelectual, entre outras). Os agradecimentos devem ir como uma secção separada depois da discussão e antes das referências. Este parágrafo é opcional.

**Referências.** Assegure-se de que todas as referências citadas no texto estejam na lista de referências e vice-versa. Tenha em conta que não se admitam artigos sem referências. Siga o formato estabelecido para citações na revista (Secção 4 -Literatura Citada).

## D. Considerações para o formato

**1. Figuras e Tabelas**. As figuras e as tabelas devem estar incluídas junto com o texto do manuscrito, em folhas separadas no final do documento, uma figura ou tabela por folha. Apresente o título e legenda das figuras e o título das tabelas em lista numa secção aparte. Tanto tabelas como figuras devem ser numeradas e citadas no texto de forma consecutiva com algarismos árabes.

..... ***i.*Figuras:** Dentro do texto refere a figura da seguinte forma: (Fig.1) As figuras não devem ter linhas de divisão tanto nas abcissas como nas ordenadas e volume nem sombra (Barras ou pontos em três dimensões), a menos que haja mais de dois eixos. Os eixos e sinais devem ser claros e grandes. Cada figura deve ter a respectiva legenda. As abreviaturas e acrónimos devem ser explicados na legenda da figura. As figuras devem ser enviadas no formato .jpg ou .gif, e devem ter a qualidade necessária para a sua publicação (mais de 300dpi).

..... ***ii.*Tabelas:** Dentro do texto refere a tabela da seguinte forma: (Tabela 1). Apresente os dados numa tabela real com linhas e colunas, em espaço duplo sem divisões verticais, nem divisões internas. Devem utilizar unidades dos Sistema Internacional (SI). As abreviaturas e acrónimos devem ser explicados como notas no rodapé em cada tabela. Não se admite, em nenhum caso, tabelas no formato oblongo.

**2. Equações**. Devem estar justificadas à esquerda e enumeradas consecutivamente. A numeração deve estar justifica à direita e entre parêntesis. Utilize o Editor de Equações do Word 2003. O significado de cada símbolo deve clarificar-se no texto do manuscrito.

**3. Rodapé**. Não use rodapés.

**4. Nomenclatura e unidades**. Use as regras e convenções internacionais: Sistema Internacional de Unidades (SI). Os nomes comuns das espécies devem ser escritos em minúsculas, seguidos do nome científico da espécie entre parêntesis. Os nomes científicos devem apresentar-se em itálico. Depois da primeira menção, devem ser simplificados para a primeira letra.

## E. Literatura citada.

No corpo do texto do artigo as referências se citarão por apelido do autor e o ano da publicação separados por um espaço e entre parêntesis. No caso de citar dois autores use o símbolo “&”. Quando a citação faz referência a mais autores use a palavra et al., em itálico. Quando cita mais que uma publicação, deve citar por ordem cronológica e depois alfabética. Por exemplo, (Pérez 1970, Alvarado & Gómez 1999, 2004, Oates 2001, Roberts 2004, Smith 2006, Albert et al. 2008).

As referências são incluídas no final do texto como mais uma secção do mesmo, por ordem alfabética, com recuo deslocado. As referências electrónicas devem estar acompanhadas por instituições científicas; não se aceitam como referências documentos que provenham de casas comerciais ou páginas Web privadas. As citações se documentarão de acordo os modelos seguintes:

**Artigo publicado:**
Halpern, S.D., P.A. Ubel & A.L. Caplan. 2003. Solid-organ transplantation in HIV-infected patients. New England Journal Engeniiering, 347: 284-287

**Artigo com suplemento:**
Geraud, G., E.L. Spierings & C. Keywood. 2002. Tolerability and safety of frovatriptan with short- and long-term usefor treatment of migraine and in comparison with sumatriptan. Headache, 42 (Suppl 2):S93-9

**Livro:**
Bradley, F. 1982. Medical and surgical management. 2nd Ed. W B Saunders, Philadelphia.

**Livro editado:**
Gilstrap, L.C., F.H. Cunningham & J.P. VanDorsten (Eds.). 2007. Operative obstetrics. 2nd Ed. McGraw-Hill, New York.

**Capítulo do livro:**
Meltzer, P.S., A. Kallioniemi & J.M. Trent. 2005. Chromosome alterations in human solid tumors. En: Vogelstein B, FG Kinzler (Eds.). The genetic basis of human cancer. McGraw-Hill, New York, pp. 91-110

**Teses e Trabalhos de Pós-Graduação:**
Gómez-Alcalde, M.S. 1989 Mortalidad violenta en el Partido Judicial de Alcalá de Henares [tesis doctoral/dissertation]. Alcalá de Henares: Facultad de Medicina de la Universidad de Alcalá de Henares.

**Internet*:**
Collum T. 1997. Supplementation strategies for beef cattle. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A&M University System. Disponible en línea: http://agpublications.tamu.edu/pubs/eanim/b6067.pdf. [Incluya la fecha en que este documento fue consultado].

*Apenas utilize fontes electrónicas que correspondem a publicações sérias, com apoio institucional, cujo conteúdo não possa ser modificado ou eliminado no futuro. Não utilize informação proveniente de páginas comerciais ou sites de opinião.

**Nota:** Confira se todas as referências citadas no texto aparecem na secção Literatura Citada e vice-versa.

## IV. Esclarecimento

Os autores assumem a responsabilidade de devolver à revista as correcções das artes finais (provas) do seu artigo, com a maior brevidade possível. O Comité Editorial toma liberdade de publicar ou não, suplementos para aprovar a publicação de resumos em eventos científicos nacionais e internacionais.

## V. Envio dos manuscritos.

Os manuscritos que se encontrem preparados e de acordo com o formato da revista, devem ser enviados como anexo para o e-mail: riaa@unad.edu.co.

# Índice Sumativo

## Volumen 6 Número 1 enero-junio 2015

**Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia**

***Estimation of the carbon footprint of the production system of sugar cane (Saccharum officinarum) in Palmira, Valle del Cauca, Colombia***

Estimativa da pegada de carbono do sistema de produção de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) em Palmira, Valle del Cauca, Colômbia

Hernán J. Andrade, Milena A. Segura & Juan Pablo Varona **p. 19**

---

**Disponibilidad de Ca2+, Mg2+ y K+ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia**

***Availability of Ca2, Mg2 and K depending on the properties of the soil, central coffee zone of Colombia***

Disponibilidade de Ca2 +, Mg2 + e K + em função das propriedades do solo, zona central cafeeira da Colômbia

Luz Adriana Lince Salazar, Nelson Rodríguez Valencia & Siavosh Sadeghian Khalajabadi **p. 29**

---

**Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia**

***Influence of the intensity of use on some physical properties in a soil of the Valle del Cauca, Colombia***

Influência da intensidade do uso, sobre algumas propriedades físicas em um solo de Valle del Cauca, Colômbia

Alveiro Salamanca Jiménez & Edgar Amézquita Collazos **p. 43**

---

**Efecto de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en árboles pioneros de la región oriental de América del Norte**

***Effect of ultraviolet radiation and the mycorrhizal colonization in pioneers trees from the eastern region of North America***

Efeito da radiação ultravioleta e colonização micorrízica em árvores pioneiras do leste da América do Norte

Nilsen Lasso-Rivas **p. 53**

---

**Conservación *in vitro*: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos**

***In-vitro conservation: a perspective for the management of phytogenetic resources***

Conservação *in vitro*: uma perspectiva para a gestão dos recursos fitogenéticos

Miguel Macgayver Bonilla Morales, Carolina Mancipe Murillo & Adriana Carolina Aguirre Morales **p. 67**

---

**Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada**

***Filter cake and ash carbon: agro-industrial wastes with potential for biological nitrogen fertilization***

Torta de filtro e cinza de carvão: resíduos agro-industriais com potencial de fertilização biológica nitrogenada

Sandra Patricia Montenegro Gómez, Milton Cesar Ararat & Jhon Fredy Betancur **p. 83**

**Morfología de *Passiflora*: una guía para la descripción de sus especies**

***Passiflora morphology: a guide for the description of species***

Morfologia da *Passiflora*: Uma Guia para a descrição de espécies

Miguel Macgayver Bonilla Morales, Adriana Carolina Aguirre Morales & Oscar Manuel Agudelo Varela **p. 91**

**Método preliminar de detección de patógenos biológicos en cultivos de fresa por medio del procesamiento digital de imágenes**

***Preliminary method of detection of biological pathogens in crops of Strawberry by means of digital image processing***

Método de detecção preliminar de patógenos biológicos na cultura do morango por meio de processamento digital de imagens

Darío Amaya Hurtado & Juan David Sandino Mora **p. 111**

**Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia**

***Levels and distribution of heavy metals in the water of the beach area of Riohacha, La Guajira, Colombia***

Níveis e distribuição de metais pesados na água da área da praia de Riohacha, Guajira, Colômbia

Carlos Doria Argumedo & Haroldo Deluque Viloria **p. 123**

**Sistemas de transmisión del conocimiento etnobotánico de plantas silvestres comestibles en Turbo, Antioquia, Colombia.**

***Transmission systems of Ethnobotanical knowledge of edible wild plants in Turbo, Antioquia, Colombia.***

Sistemas de transmissão de conhecimento etnobotânico de plantas silvestres comestíveis em Turbo, Antioquia, Colômbia.

Ramón Antonio Mosquera Mena, Tomas Santamaría Polo & Juan Carlos López Almansa **p. 133**

**Parámetros de calidad durante la cosecha de durazno (*Prunus persica* L. Batsch cv. "RUBIDOUX")**

***Quality parameters during the harvest of peach (Prunus persica (L. Batsch cv. "Rubidoux")***

Parâmetros de qualidade durante a colheita de pêssego (*Prunus persica* L. Batsch cv. "Rubidoux")

Lisney Alessandra Bastidas Parrado, Gloria Acened Puentes Montañez, Angela Lemus Cerón **p. 145**

**Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus nigra* L) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del trópico alto**

***Features, management, uses and benefits of saúco (Sambucus nigra L) with an emphasis on its implementation in the tropic high silvopastoral systems***

Características, gestão, usos e benefícios do sabugueiro (*Sambucus nigra* l) com ênfase na implementação de sistemas silvipastoris, no alto trópico

Beatriz Milena Grajales Atehortúa, María Magdalena Botero Galvis & Juan Fernando Ramírez Quirama **p. 155**

**Modelación hidrodinámica y determinación de calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia**

***Hydrodynamic modeling and determination of the water quality in the river Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia***

Modelagem hidrodinâmico e determinação da qualidade da água em rio Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colômbia

Angel Oswaldo Antonio Paiba & Edinson Fabian Monroy Avila **p. 169**

**Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (*Cucurbita maxima var. Unapal- Mandarino*)**

***Evaluation of the efficiency of three soil fertilizers on the yield and quality of zapallo (Cucurbita maxima var. Unapal - Mandarino)***

Avaliação da eficiência de três fertilizantes do sobre a produtividade e na qualidade de abóbora (*Cucurbita maxima* var. Unapal- Mandarino)

Juan Carlos Menjivar-Flores, Cristian Felipe Enciso Murillo & Harol E. Martínez Cordoba **p. 185**

**Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia**

***Methodological proposal of prioritizing of areas for conservation of hydrographic basins. Validation in the river Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia***

Proposta metodológica para a priorização de áreas para a conservação de bacias hidrográficas Validação de rio Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colômbia

Álvaro Martin Gutiérrez Malaxechebarría, Yorlenny Zambrano Rodríguez & Laura Ospina Hoyos **p. 199**

**Proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo endógeno de dos comunidades de Puerto Padre, Cuba**

***Socio-cultural projects as an alternative to the endogenous development of two communities of Puerto Padre, Cuba***

Projetos socioculturais como uma alternativa para o desenvolvimento endógeno de duas comunidades de Puerto Padre, Cuba.

Idis Parra Batista, Ramona Altabás-Jorge & Iliria Muchuly Cabrera **p. 215**

**Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia**

***Strategies for adapting to climate change in two localities of municipality of Junín, Cundinamarca, Colombia***

Estratégias de adaptação às alterações climáticas em duas aldeias da cidade de Junín, Cundinamarca, Colômbia

Sud Sair Sierra Roncancio, Juan Guillermo Cano Muñoz & Fabián Rojas Sánchez **p. 227**

**Condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos de la Granja Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colombia**

***Current conditions in terms of loss of biodiversity in biological corridors of the Uniminuto Agro-ecological Farm, Villavicencio, Meta, Colombia***

Condições atuais em termos de perda de biodiversidade em corredores biológicos da Fazenda Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colômbia

Guillermo González Jiménez & Nélvar Choque Ladino **p. 239**

**Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia**

***Characterization of three indexes of cocoa harvest of the clones CCN51, ICS60 and ICS 95 in the santandereana mountain, Colombia***

Caracterização dos três índices de colheita de cacau do clones CCN51, ICS60 e ICS 95 na montanha Santander, Colômbia

Lucas Fernando Quintana Fuentes, Salomón Gómez Castelblanco, Alberto García Jerez & Nubia Martínez Guerrero **p. 253**

**Acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, en el páramo de la región del Guavio, Cundinamarca, Colombia**

***Community action against the phenomenon of climate change, in the páramo of the Guavio region, Cundinamarca, Colombia***

Acção comunitária contra o fenómeno das alterações climáticas, no páramo da região Guavio, Cundinamarca, Colômbia

Sonia Astrid Mendoza Velásquez, Juan Guillermo Cano Muñoz & Fabián Rojas Sánchez **p. 267**

**Instrucciones para los Autores** **p.281**

# Volumen 6 Número 2 julio-diciembre 2015

**Producción de café (Coffea arabica L.) en respuesta al manejo específico de la fertilidad del suelo**

***Production of coffee (Coffea arabica L.) in response to the specific handling of soil fertility***

Produção de café (Coffea arabica L) em resposta a gestão específica da fertilidade do solo

Luz Adriana Lince Salazar & Siavosh Sadeghian Khalajabadi **p. 19**

**Evaluación de sustratos orgánicos para la aclimatación y endurecimiento de vitroplantas de yuca (Manihot esculenta Crantz)**

***Evaluation of organic substrates for acclimatization and hardening of vitroplants of cassava (Manihot esculenta Crantz)***

Avaliação de substratos orgânicos para aclimatação e endurecimento das mudas de mandioca (Manihot esculenta Crantz)

Miguel Macgayver Bonilla Morales, Sergio Adolfo Sánchez Ordoñez & Jorge Pachón García **p. 31**

**Contenido y distribución de macronutrientes en caléndula (Caléndula officinalis L.) en el Valle del Cauca, Colombia**

***Content and distribution of macronutrients in calendula (Calendula officinalis L.) in the Valle del Cauca, Colombia***

Conteúdo e distribuição de macronutrientes na Calendula (*Calendula officinalis* L.), no Valle del Cauca, Colômbia

Yuly Samanta García Vivas, Juan Carlos Menjivar Flores, Manuel Salvador Sánchez Orozco & Carmen Rosa Bonilla Correa **p. 37**

**Contribución de *Vigna unguiculata* L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar**

***Contribution of Vigna unguiculata L. to the sustainability of systems for the cultivation of sugar cane***

*Vigna unguiculata* L. contributo para a sustentabilidade dos sistemas de produção de cana

Oscar Eduardo Sanclemente Reyes, Milton Cesar Ararát Orozco & Cristihan Andrés De la cruz Cardona **p. 47**

**Aprovechamiento forestal maderable en cuatro municipios del departamento de Chocó, Colombia**

***Timber forestry in four municipalities in the Department of Chocó, Colombia***

Exploração madeireira em quatro municípios no departamento de Choco, Colômbia

Melida Martínez Guardia, Jhon Jerley Torres Torres & Henry Hernan Medina Arroyo **p. 57**

**Asociaciones de poliquetos de fondos blandos en la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano**

***Associations of polychaetes of soft bottoms in the bay of Buenaventura, Colombian Pacific***

Fundo macio poliquetas na baía de Buenaventura, na costa do Pacífico da Colômbia

Juan Guillermo Popayán Hernández **p. 75**

**Diagnóstico y monitoreo de leptospirosis en Latinoamérica**

***Diagnosis and monitoring of leptospirosis in Latin America***

Diagnóstico e monitorização de leptospirose em Latinoamérica

Oscar Moreno Foglia, Catalina Trujillo Salinas, Cicero Antonio Maia Cavalcante & José Camilo Torres Romero **p. 85**

**Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano**

***Biotechnology applied to colombian agricultural development***

Biotecnologia aplicada ao desenvolvimento agricola colombiano

Sandra Patrícia Montenegro Gómez & Yeni Katerine Hernández Ossa **p. 97**

**Resistencia a los antibióticos beta-lactámicos Carbapenems mediada por el gen *bla*$_{KPC}$ en *Klebsiella pneumoniae***

***Resistance to beta-lactam antibiotics Carbapenems mediated bla*$_{KPC}$ *gene in Klebsiella pneumoniae***

A resistência aos antibióticos beta-lactâmicos Carbapenems mediada gene *bla*$_{KPC}$ em *Klebsiella pneumoniae*

Aura Dayana del Carmen Falco Restrepo & Carlos Andrés Aranaga Arias **p. 109**

**Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia**

***Physico-chemical and microbiological characterization of Soacha River water, Cundinamarca, Colombia.***

Caracterização microbiológica físico-químicas da água de Rio Soacha, Cundinamarca, Colombia

Gustavo Forero Acosta **p. 119**

**Restauración ecológica en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* Labill y *Acacia melanoxylon* R. Br.**

***Ecological restoration in forestry plantations of Eucalyptus globulus Labill and Acacia melanoxylon R. Br.***

Restauração ecológica em plantações florestais de *Eucalyptus globulus* Labill e *Acacia R. Br melanoxylon*

Lina Rocío Guio Cortés, Jairo Solorza Bejarano & Leslie Yaneth Leal Mejía **p. 145**

**Remoción de carga contaminante en aguas residuales industriales a escala de laboratorio**

***Removal of pollutant load in industrial wastewater at laboratory scale***

A remoção da carga poluente das águas residuais na indústria de escala de laboratório

Gustavo Adolfo Peña Hernandez, Frank Alberto Cuesta Gonzalez & Jhon Fredy Betancur Pérez **p. 157**

**Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos**

***Characterization of the agroecological leachate from organic residues of crops***

Caracterização agroecológica de lixiviado de resíduos de culturas orgánicas.

Carlos Arturo Granada Torres & Yolvi Prada Millán **p. 169**

**Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar, Colombia**

***Nutrient Removal using natural and chemical coagulants in waste water treatment plant, Valledupar, Colombia***

Remoção de nutrientes por coagulantes naturais e químicas em águas residuais estação de tratamento, Valledupar, Colômbia

Damileth Dearmas Duarte & Luis Francisco Ramírez Hernández **p. 183**

**Biomasa aérea almacenada en *Ficus soatensis* y *Tecoma stans* en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, Colombia**

***Aerial biomass stored in Ficus soatensis and Tecoma stans in the locality of Puente Aranda, Bogota, Colombia***

Biomassa acima do solo armazenada em *Ficus soatensis* and *Tecoma stans* na localidade de Puente Aranda, Bogotá, Colômbia

Jeniffer Paola Gracia Rojas & Edgard Ernesto Cantillo Higuera **p. 197**

**Elaboración de néctar de durazno (*Prunus pérsica* L), endulzado con sucralosa como aprovechamiento de pérdidas poscosecha**

***Elaboration of nectar peach (Prunus pérsica L), sweetened with sucralose as use of post-harvest losses***

Desenvolvimento de néctar de pêssego (*Prunus persica* L), adoçado com sucralose como o uso de perdas pós-colheita

Darío Alberto Pinto Medina, Ángela Johana Lemus Cerón & Gloria Acened Puentes Montañez **p. 221**

**Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico.**

***Importance of renewable energies in the energy security and its relationship with economic growth.***

Importância das energias renováveis na segurança energética e sua relação com o crescimento económico.

Lilian Paola Umbarila Valencia, Freddy Leonard Alfonso Moreno & Julio César Rivera Rodríguez **p. 231**

**Valoración de impactos ecológicos por minería de oro en río Guabas, Valle del Cauca, Colombia**

***Assessment of ecological impacts by mining of gold in Guabas River, Valle del Cauca, Colombia***

Avaliação dos impactos ecológicos de mineração de ouro do rio Guabas, Valle del Cauca, Colômbia

Diego Esteban Gamboa García **p. 243**

**Miniestacas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz): hacia un eficiente sistema de propagación en cultivo de tejidos**

***Mini-cuttings of cassava (Manihot esculenta Crantz): towards an efficient propagation system in tissue culture***

Miniestacas mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): Rumo a um sistema eficiente de propagação de cultura de tecidos

Miguel Macgayver Bonilla Morales, Sergio Adolfo Sánchez Ordoñez & Jorge Pachón García **p. 255**

**Evaluación del desarrollo en vivero de *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno)**

***Evaluation of the nursery development of Peltogyne purpurea Pittier (Nazareno)***

Avaliação do desenvolvimento em berçário de *Peltogyne purpurea* Pittier (Nazareno)

Ramón Antonio Mosquera Mesa & Luis Angel Ruíz Florez **p. 261**

**Instrucciones para los Autores** **p. 280**

**Índice Volumen 6 Número 1 enero-junio de 2015** **p. 294**

**Índice Volumen 6 Número 2 julio-diciembre de 2015** **p. 298**